



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**Estudio de la acción del fuego (cambios de temperatura) en
perfiles doblados A36 y en vigas I calidad A572 Gr. 50 en una
estructura regular con pórticos**

AUTORA:

Procel Andrade, Claudette Marie

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Villacres Sánchez, Alex Raúl

Guayaquil, Ecuador

2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Claudette Marie, Procel Andrade**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

Ing. Villacres Sánchez, Alex Raúl

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Alcivar, Stefany

Guayaquil, a los 23 del mes de marzo del año 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Claudette Marie Procel Andrade**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Estudio de la acción del fuego (cambios de temperatura) en perfiles doblados A 36 y en vigas I calidad A572 Gr. 50 en una estructura regular con pórticos**, previo a la obtención del Título **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 23 del mes de marzo del año 2016

EL AUTORA

Claudette Marie Procel Andrade



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Claudette Marie Procel Andrade**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Estudio de la acción del fuego (cambios de temperatura) en perfiles doblados A36 y en vigas I calidad A572 Gr. 50 en una estructura regular con pórticos**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 23 del mes de marzo del año 2016

LA AUTORA:

Claudette Marie Procel Andrade

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por haberme apoyado y alentado en todo momento desde mis primeros años de vida y darme la oportunidad de prepararme como profesional.

A mi querido Tutor Ing. Alex Villacres por haberme dado la oportunidad de desarrollar este tema.

A mi tía Virginia Andrade por su guía, orientación y consejos brindados durante mi carrera y la elaboración de este trabajo de grado. Por inculcarme esa pasión por la Ingeniería.

A mi enamorado David Álvarez Kronfle por su colaboración y apoyo incondicional a lo largo de mi aprendizaje para conseguir los resultados positivos.

Claudette Marie Procel Andrade

DEDICATORIA

A mi familia, por apoyarme, acompañarme, transmitirme esas enseñanzas, experiencias y principios para mi desarrollo personal a lo largo de mi vida.

Claudette Marie Procel Andrade

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	14
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	15
1.1 RAZONES QUE MOTIVARON EL ESTUDIO	15
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA:	16
1.2.1 Desde el punto de vista científico:.....	16
1.2.2 De su pertinencia social:.....	17
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN O DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA:	19
1.4 OBJETIVOS:	19
1.4.1 Objetivo general:.....	19
1.4.2 Objetivos específicos:	20
1.5 METODOLOGÍA:	20
CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN INCENDIO	22
2.1 DEFINICIONES BÁSICAS	22
2.1.2 INCENDIO	22
2.1.3 COMBUSTIÓN O FUEGO	23
2.1.4 RESISTENCIA AL FUEGO	26
2.1.5 FORMAS DE PROPAGACIÓN	27
2.1.6 TIPOS DE INCENDIO.....	28
2.2 INCENDIO NORMALIZADO	28
2.3 COMPARACIÓN INCENDIO NORMALIZADO - INCENDIO REAL	31
CAPÍTULO 3: COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES FRENTE A LA ACCIÓN DEL FUEGO	34
3.1 PROPIEDADES ESFUERZO- DEFORMACIÓN UNITARIA	34
3.2 EFECTO DE LA TASA DE DEFORMACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES A TENSIÓN	37
3.3 EFECTOS DE LAS TEMPERATURAS ELEVADAS SOBRE LAS PROPIEDADES	39
3.3.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD	39
3.3.2 ESFUERZO-DEFORMACIÓN	42
CAPÍTULO 4: NORMAS INTERNACIONALES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CONDICIÓN DE FUEGO	45
4.1 OBJETIVO DE DESEMPEÑO	45
4.2 DISEÑO MEDIANTE ANÁLISIS DE INGENIERÍA	45
4.3. COMBINACIONES DE CARGA Y RESISTENCIA REQUERIDA	46
4.4. DISEÑO ESTRUCTURAL POR ANÁLISIS PARA LA CONDICIÓN DE FUEGO	46
4.4.1. INCENDIO DE DISEÑO.....	46
4.4.2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA CONTRA EL FUEGO.....	47
4.4.3. TEMPERATURAS EN SISTEMAS ESTRUCTURALES BAJO CONDICIONES DE INCENDIO	47
4.4.3.1. ELONGACIÓN TÉRMICA	47
4.4.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURAS ELEVADAS... ..	48
4.4.4. REQUISITOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL	49
4.4.4.1 INTEGRIDAD ESTRUCTURAL GENERAL.....	49
4.4.4.2. REQUISITOS DE RESISTENCIA Y LÍMITES DE DEFORMACIÓN... ..	50
4.4.4.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	50

4.4.4.3.1 MÉTODOS SIMPLES DE ANÁLISIS.....	50
CAPÍTULO 5: NORMAS NACIONALES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CONDICIÓN DE FUEGO	60
5.1 CÓDIGO CUERPO DE BOMBEROS GUAYAQUIL.....	60
5.2 NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN	66
CAPÍTULO 6: EFECTO DE LA TEMPERATURA EN ARMADURAS METÁLICAS	71
6.1 COMBINACIÓN DE CARGA	72
6.2 CÁLCULO DE REACCIONES EN APOYOS	72
6.3 CÁLCULO DE FUERZAS INTERNAS	73
6.4 ESFUERZOS POR TEMPERATURA.....	76
6.5 ESFUERZOS POR CARGAS VIVA Y MUERTA.....	76
6.6 CÁLCULO DE ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	78
6.6.1 CÁLCULO ÁREA PARA CARGA MUERTA Y VIVA.....	79
6.6.2 CÁLCULO DE ÁREA POR CARGA VIVA, MUERTA Y TEMPERATURA	81
CAPÍTULO 7: EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN PÓRTICOS METÁLICOS.....	85
7.1 CARACTERÍSTICAS DEL PÓRTICO SELECCIONADO.....	85
7.2 CÁLCULO DE CARGAS ACTUANTES.....	89
7.2.1 CARGA MUERTA.....	89
7.2.2 CARGA VIVA.....	90
7.2.3 ÁREAS TRIBUTARIA	93
7.3 MODELO DE PÓRTICO EN SAP2000	94
7.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	96
7.3.2 MODELO ESTRUCTURAL	97
7.3.2.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	98
7.3.2.2 SECCIONES TRANSVERSALES	101
7.3.2.3 CARGAS DE VIGAS EN SAP2000	106
7.3.2.4 ESFUERZOS MÁXIMOS	108
CAPÍTULO 8: SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	114
8.1. MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVA	114
8.1.1 Detectores automáticos:	114
8.1.2 Alerta y señalización:	115
8.1.3 Extinción:	115
8.2 MEDIDAS DE PROTECCIÓN PASIVA.....	119
8.2.1 PINTURAS INTUMESCENTES	119
8.2.2 MORTEROS PROYECTABLES.....	122
8.2.3 PANELES Y PLACAS RÍGIDAS DE REVESTIMIENTO.....	126
8.3 PRECIOS DE LAS PROTECCIONES PASIVAS	128
8.3.1 MORTERO PROYECTABLE	128
8.3.2 PLACAS RÍGIDAS.....	129
8.3.3 PINTURAS INTUMESCENTES	130
CAPÍTULO 9: DISEÑO DE PORTECCIÓN CONTRA EL FUEGO	134
9.1 CARGA DE FUEGO	134
9.1.1 CALOR ESPECÍFICO DEL ACERO (C_A):.....	135
9.1.2 COEFICIENTE DE GRADO PELIGROSIDAD	135

9.1.3 COEFICIENTE ADIMENSIONAL QUE CORRIGE EL GRADO DE PELIGROSIDAD.....	136
9.2 FACTOR DE ABERTURAS	136
9.3 FACTOR DE EMISIVIDAD.....	138
9.4 FACTOR DE FORMA	138
9.5 TEMPERATURA EN LOS ELEMENTOS DE ACERO	141
CAPÍTULO 10: DISEÑO DE PROTECCIÓN CON MORTERO PROYECTABLE A VIGA Y COLUMNA DE PARQUEADERO JUDICATURA	142
10.1 Temperatura alcanzada por el pilar:	143
10.1.1 Carga de fuego:	143
10.1.2 Coeficiente de peligrosidad:.....	144
10.1.3 Coeficiente de corrección de peligrosidad:.....	145
10.1.4 Factor de abertura:	146
10.1.5 Factor de forma:	147
10.1.6 Factor de emisividad:.....	147
10.1.7 Carga crítica del pilar:	148
10.1.8 Factor de forma con protección:.....	150
10.2 Temperatura alcanzada por las vigas:.....	153
10.2.1 Carga de fuego:	153
10.2.2 Factor de abertura:	154
10.2.3 Factor de forma:	155
10.2.4 Factor de emisividad:.....	155
10.2.5 Carga crítica de las vigas.....	156
10.3.1 Carga de fuego:	160
10.3.2 Factor de abertura:	161
10.3.3 Factor de forma:	162
10.3.4 Factor de emisividad:.....	162
10.3.5 Carga crítica de las vigas.....	163
10.4 PRECIO DEL RUBRO	168
11. CONCLUSIONES	172
12. RECOMENDACIONES.....	176
BIBLIOGRAFÍA:.....	177

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Fases de la evolución del fuego.....	25
Figura 2: Gráfico Tiempo- Temperatura	30
Figura 3: Curva ISO 834 comparada con la curva de un incendio real desarrollado y de un incendio abortado gracias a la aplicación de medidas de extinción rápida.	32
Figura 4: Gráfico Deformación- Esfuerzo del acero.....	34
Figura 5: Gráfica Deformación- Esfuerzo para distintos aceros	35
Figura 6: Tabla de la propiedades de los distintos aceros.....	37
Figura 7: Barra de acero bajo efectos de temperatura	37
Figura 8: Efectos de la tasa de deformación sobre las resistencia de los aceros estructurales a la cedencia y a la tensión a temperatura baja, normal y elevada	39
Figura 9: Evolución del módulo de elasticidad al variar la temperatura en un perfil de acero	41
Figura 10: Diagrama de tensión del acero para distintas temperaturas vs su módulo de elasticidad.....	42
Figura 11: Resistencia relativa de diferentes materiales en función de temperatura.....	43
Figura 12: Tabla de Propiedades del acero a temperaturas elevadas	48
Figura 13: Gráfico del pérdida de resistencia en % a temperaturas elevadas..	49
Figura 14: Cargas accidentales según NEC-15	67
Figura 15: Esquema conceptual de las combinaciones de cargas según NEC-15	70
Figura 16: Armadura en estudio	72
Figura 17: Fuerzas internas en los elementos de la Armadura	75
Figura 18: Esfuerzo en el elemento de la Armadura.....	76
Figura 19: Vista en planta Parqueadero.....	85
Figura 20: Vista en elevación Parqueadero	86
Figura 21: Sección transversal de la losa	87
Figura 22: Losa, vigas secundarias, diafragmas.....	87
Figura 23: Vano corto con vigas principales.....	88
Figura 24: Vista Frontal de vigas principales perpendiculares	89
Figura 25: Sección transversal de losa.....	90
Figura 26: Carga viva según NEC	92
Figura 27: Ancho de Influencia para cálculo de cargas.....	93
Figura 28: Vista Frontal del Parqueadero de la Judicatura.....	96
Figura 29: Pórtico Parqueadero Judicatura.....	98
Figura 30: Propiedades del hormigón.....	99
Figura 31: Propiedades del acero	100
Figura 32: Sección Transversal viga piso 1-4	102
Figura 33: Sección Transversal viga piso 5	104
Figura 34: Sección transversal columna.....	105
Figura 35: Sección Transversal columna	106

Figura 36: Distribución carga viva	107
Figura 37: Distribución carga muerta.....	108
Figura 38: Esfuerzo por Combinación de carga	109
Figura 39: Esfuerzo por carga muerta.....	109
Figura 40: Esfuerzo por carga viva	110
Figura 41: Evolución de un incendio con y sin sprinkler	117
Figura 42: Evolución de un incendio con y sin sprinkler	118
Figura 43: Protección mediante pinturas intumescentes.....	119
Figura 44: Cálculo del factor de forma o Masividad	121
Figura 45: Tabla de recubrimiento de pintura intumescentes	122
Figura 46: Protección mediante mortero proyectado.....	124
Figura 47: Tabla de recubrimiento para mortero proyectado.....	125
Figura 48: Protección de las placas rígidas.....	126
Figura 49: Gráfico de recubrimiento por placas rígidas.....	127
Figura 50: Precios de saco de mortero proyectable.....	128
Figura 51: Precio por m² de placas rígidas	129
Figura 52: Precio por bote de pintura intumescente.....	130
Figura 53: Tabla de grado de peligrosidad.....	135
Figura 54: Tabla Coeficiente corrige grado de peligrosidad.....	136
Figura 55: Coeficiente de emisividad (et)	138
Figura 56: Factor de forma para secciones no protegidas.....	139
Figura 57: Factor de forma para secciones protegidas.....	140
Figura 58: Vista en Planta de Parqueadero Judicatura.....	142
Figura 59: Temperatura en los perfiles de acero no protegidos	149
Figura 60: Conductividad térmica de la vermiculita.....	150
Figura 61: Temperatura en los perfiles de acero protegidos	152
Figura 62: Velocidad de calentamiento	157
Figura 63: Coeficiente β para determinación de la Carga crítica.....	158

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo de investigación es estudiar las modificaciones que sufren las estructuras metálicas en sus capacidades resistentes por el incremento de temperaturas. Este incremento de temperatura puede ser causado por un incendio o también por cambios de temperatura ambiental. Hoy en día se han iniciado múltiples investigaciones en este campo con el objetivo de comprender el fenómeno y modelizarlo de forma adecuada. Una de las principales investigaciones es la escala internacional de la curva de incendio normalizado ISO 83, que proporciona un valor de temperatura en función del tiempo transcurrido en un incendio.

Posteriormente, las normativas nacionales como NEC15 no consideran en su diseño los cambios de temperatura. En el Código de Cuerpo de bomberos se toman medidas necesarias para impedir la extensión del fuego a estructuras próximas, para garantizar las medidas de seguridad y lograr una evacuación segura de los ocupantes. Mientras que en normas internacionales como AISC si consideran los cambios de temperatura, donde las propiedades mecánicas reducen un porcentaje, este porcentaje se estima en tablas de acuerdo a la temperatura que este expuesto. Después de la verificación de todas las normativas se evaluó un pórtico de acero donde se obtuvieron los valores de esfuerzos máximos por carga viva y carga muerta que luego fueron restados al esfuerzo de fluencia del acero y se obtuvo el esfuerzo remanente en los elementos. Se calculó el esfuerzo por temperatura y se encontró que el factor β si considera los cambios de temperatura ambiental porque los coeficientes que mayoran la carga viva y muerta son muy cercanos al factor β . Según el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España nos indican que por medio de ecuaciones y tablas existentes se calcula la temperatura a la que estará expuesto el perfil antes y después de la protección con mortero proyectable, que resulta ser muy efectiva.

Palabras claves: Curva de incendio normalizado. Modificaciones en propiedades mecánicas. Esfuerzo remanente. Mortero proyectable.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 RAZONES QUE MOTIVARON EL ESTUDIO

Uno de los materiales de construcción más utilizado del mundo es el acero estructural, junto con el hormigón, pero a lo largo de los años hemos podido observar que el acero es el material preferido cuando se busca llevar las estructuras a nuevos límites, ya sea en altura o longitud.

Las personas que habitan en países desarrollados conviven cada día con estructuras cuyo material principal es el acero, ya sea lugar de residencia hasta los edificios más altos que se encuentran en sus alrededores. Debido a sus capacidades mecánicas se ha convertido en uno de los materiales de construcción líder en todo el mundo.

Una de las ventajas que presentan las estructuras metálicas es que son preparadas en planta para luego ser trasladadas, es decir los elementos llegan a obra prácticamente elaborados, necesitando ajustes mínimos para su finalización. Además, el tiempo de construcción es menor en comparación a otros métodos debido a que presentan un montaje más rápido.

Las estructuras de acero son también más ligeras, más resistentes y no requieren de otros insumos como las estructuras de hormigón. Entonces, una pregunta surge ante esto: ¿Por qué no se construyen muchas más estructuras de acero en nuestro país?

Uno de los inconvenientes es el precio, pues si lo comparamos con el costo del hormigón es perceptiblemente más elevado. Pero también existen otros inconvenientes como la necesidad de proteger la estructura

metálica contra el fuego y contra la corrosión, lo que produciría un incremento en el costo.

Hoy en día, en las Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC) no han elaborado una normativa enfocada al diseño y construcción de edificaciones contra el fuego. En el capítulo 3 del NEC-15 solo se menciona el incendio como carga accidental, pero no existen procedimientos de diseño estructural, ni están considerando los cambios de temperatura ambientales en las combinaciones para el diseño por última resistencia.

Por esta razón se va a investigar el estado límite de resistencia, bajo este efecto de “cambios de temperatura”. Debido a que constituye un riesgo grave para los ocupantes de las edificaciones.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA:

1.2.1 Desde el punto de vista científico:

La amenaza de incendio en una edificación es una situación eventual indeseable pero que debe ser considerada como posible durante el diseño, tal como se considera la eventualidad de un sismo.

El problema que se plantea resolver es el diseño de las estructuras metálicas a través del conocimiento de sus propiedades mecánicas para la elaboración de un procedimiento que permita realizar el cálculo, diseño y construcción de un pórtico ante la acción desfavorable de un incendio y cambios de temperatura ambientales.

Para resolver este problema no se pueden hacer pruebas de laboratorio con vigas de acero, se requiere un horno especializado y varias vigas de acero para determinar la temperatura a la que comienza a perder resistencia. Existen estudios donde se desarrolló una curva Tiempo-Temperatura que proporciona un valor de temperatura en función del

tiempo transcurrido desde el inicio de un incendio. También nos facilita una curva de resistencia para las estructura de acero. Estas van a tener diferentes grados Celsius de un incendio. Apoyándome en estas dos curvas se pueden obtener los esfuerzos de cualquier estructura bajo cambios de temperaturas para luego tomar las medidas necesarias, una de ellas es la protección de los perfiles.

“La estructura metálica precisa ser protegida, de forma que quede revestida por elementos, como mortero, placas rígidas o pinturas intumescentes, que retarden la acción directa del fuego sobre ella.

Debido a la elevada conductividad térmica del acero, las estructuras metálicas absorben rápidamente el calor que se produce en caso de un incendio.” (SAINT GOBAIN, 2016).

Esto quiere decir que los perfiles de acero presentan un comportamiento inadecuado y una vez que se eleve la temperatura, perderán su margen de seguridad definido en el proyecto, iniciando su proceso de pandeo local. De esta manera el comportamiento de la estructura y la integridad del conjunto podrían estar comprometidos.

1.2.2 De su pertinencia social:

El acero es un material resistente y de alta calidad, lo que lo convierte en un material de muchas ventajas. Es extensamente usado como material de construcción para galpones donde alojan material o para fábricas, como así también edificios.

Este material al estar expuesto a altas temperaturas es vulnerable a ocasionar un incendio por conducción, radiación o convección.

Por lo tanto, un fuego no controlado puede llegar a ocasionar lesiones o pérdidas de vidas humanas. Por eso es necesario reducir la velocidad de

propagación de las llamas, para facilitar la evacuación ordenada de los ocupantes.

Por esta razón la estructura debe resistir un tiempo mínimo al incendio antes de que las altas temperaturas deformen el material e invaliden su capacidad y llegue al colapso.

Es importante que el desarrollo de la ingeniería esté dirigida a diseñar y construir ingenios para preservar la estructura ante los cambios de temperaturas. Para esto, hay que estar en continuo avance para mejorar los conocimientos y métodos para lograrlo. Primordialmente por dos razones; para conseguir la evacuación por parte de sus ocupantes que se encuentran en el interior de la estructura afectada y para reducir el peligro al que se exponen los integrantes del cuerpo de bomberos, quienes corren el riesgo de perder sus vidas por el consiguiente colapso estructural o derrumbe de la estructura donde en su interior o alrededores estaban luchando para controlar o apagar el incendio.

Además, el acero estructural es altamente comercial debido a sus características, estas le dan la durabilidad necesaria, mostrando capacidad de soportar grandes cargas, mayores a las que el hormigón pueda llegar a soportar y teniendo en cuenta que su estructura es más liviana.

Se puede construir edificios, incluso viviendas, con este material, logrando que este cumpla con la resistencia deseada y al mismo tiempo obtener un costo asequible de fabricación, transporte, montaje. Además, se le añadirá el costo de protección del fuego. Entonces los propósitos comerciales incluyen proveer una construcción segura, reducir las fallas estructurales, mejorar la calidad y economía de la construcción. Se busca la innovación y desarrollo, buscando proteger los intereses de la comunidad. Un sistema normalizado de diseño beneficiaría a los

ocupantes, protegiéndolos, creando sistemas de diseños y de construcción adecuados y mejorando la calidad sin elevar los costos. Es necesario la implementación de un código de diseño para estimular un proyecto considerando los cambios de temperatura que son sustanciales para la estructura a estudiar.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN O DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA:

La temperatura promedio crítica del acero se considera de 500°C. En un incendio rápidamente se alcanza esa temperatura y temperaturas superiores.

La estructura a esas temperaturas no aguanta la carga para la que ha sido diseñada, esto provoca un grave peligro para toda la estabilidad de la estructura portante.

Hay que recalcar que se espera que las estructuras superen con éxitos la acción del incendio, esto implicaría estructuras significativamente caras y tal vez no mejoraría la evacuación total de las personas, lo que realmente es el objetivo.

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 Objetivo general:

Estudio del comportamiento de una estructura de acero bajo la acción del fuego o cambio de temperatura, usando códigos de construcción relativos al tema, costos y resistencia remanente de evacuación dentro de un tiempo prudencial.

1.4.2 Objetivos específicos:

- ❖ Analizar las especificaciones de los códigos de construcción aplicables y del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil con respecto a la protección de las estructuras de acero contra la acción del fuego.
- ❖ Adoptar localmente formas de protección que no se aplican o no se disponen en Ecuador tomándolas de otros países como Chile, con mayor consumo per cápita de acero.
- ❖ Análisis del costo por kg de acero de las diversas alternativas de protección contra el fuego, es decir, a los rubros de fabricación, transporte y montaje del acero se añadirá el costo de protección del fuego.

1.5 METODOLOGÍA:

En el presente proyecto investigativo, se trata de elaborar, definir y sistematizar el conjunto de métodos para el diseño de una estructura metálica, donde se quiere incluir la temperatura como carga en los códigos de diseño de estructuras de acero.

Por medio de curvas como Tiempo-Temperatura y Esfuerzos-Temperatura se analizará una armadura simple para así obtener los esfuerzos por carga viva, carga muerta y cambios de temperatura, para luego compararlos y ver si se refleja algún cambio significativo en el área de los elementos cuando se incluye el cambio de temperatura con el diseño.

También se usará el programa SAP2000 donde se modelara un pórtico del parqueadero de Edificio de la Judicatura ubicado en el Km 8,5 vía a Daule- sector Florida. Distribuyendo las cargas se obtendrán valores de los esfuerzos por carga muerta, esfuerzos por carga viva y los esfuerzos

con la combinación de carga 2 del NEC, para luego obtener los esfuerzos remanentes que puedan aun resistir los cambios de temperatura.

CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN INCENDIO

2.1 DEFINICIONES BÁSICAS

Para poder comprender el origen y los factores que llevan a que el fuego en una estructura se convierta en un evento sin control, es necesario conocer distintos conceptos relacionados con la combustión y características de los materiales. A continuación se darán a conocer una serie de conceptos y definiciones que permitirán en el transcurso de este trabajo describir y analizar casos de incendios reales.

2.1.2 INCENDIO

“Se define por incendio la combustión no deseada de uno o varios materiales. Dicha combustión produce la oxidación de dichos materiales, en un reacción que es exotérmica (desprende calor) y de carácter irreversible (el material afectado por esta oxidación queda transformado totalmente, cambiando sus propiedades físico químicas, sin posibilidad de recuperarlas).” (Grau, Saladrigas & Arrizabalaga, 2007)

Al quemarse un elemento combustible libera una cierta cantidad de energía en forma de calor, esta energía se expresa por su poder calorífico.

A altas temperaturas los gases y vapores producidos por la oxidación, principalmente vapor de agua y dióxido de carbono, emiten las llamas o gases incandescentes que a su vez emiten luz visible e infrarroja y calor.

2.1.3 COMBUSTIÓN O FUEGO

El fuego está condicionado por algunos factores para que este se produzca y/o se mantenga.

La falta de una de las cuatro condiciones; produce automáticamente a la extinción del mismo. Según la teoría del tetraedro de fuego, estas cuatro condiciones son:

- 1) Calor. Es necesario llegar a la temperatura suficiente que proporcione al elemento la energía de activación. Una de las características propias de cada material es la temperatura de ignición. Es la temperatura a la cual se inflaman los gases desprendidos por el material combustible hasta reducir el material a cenizas.

- 2) Combustible. Un material combustible se define como un líquido, sólido o gas que puedan ser oxidados y que en su reacción liberen energía.
Al reaccionar el material combustible con el oxígeno del aire se desprende calor. Elementos como el carbono o azufre se consumen y como consecuencia generan humos y cenizas. Usualmente se trata de un compuesto orgánico, como el carbón vegetal, la madera, los plásticos, los hidrocarburos o sus gases, etc.

- 3) Comburente. Se necesita igualmente un elemento oxidante de la reacción. Lo más común es que dicho elemento sea el oxígeno del aire, que es de donde un incendio se alimenta y puede desarrollarse. Siempre existirá aire suficiente para que se inicie el fuego incluso en edificaciones cerradas con vidrios templados. En estructuras abiertas o parcialmente abiertas esta condición acelera la reacción, ocasionando un fuego sin control.

- 4) Reacción en cadena. Es la reacción mediante la cual la combustión se mantiene. El calor se genera al iniciarse la combustión, formándose una reacción en cadena que incita que continúe el proceso de liberación de

gases por parte del material combustible, los cuales continúan la combustión hasta reducir el material a cenizas incombustibles.

Según Grau, Saladrigas & Arrizabalaga (2007), el fuego se desarrolla siguiendo una serie de fases comunes en todos los casos:

- 1) Fase I. Según aumenta la temperatura, el combustible comienza a desprender partículas invisibles al ojo humano.
- 2) Fase II. La concentración de partículas que se desprenden del material forma humos y vapores que ya son visibles.
- 3) Fase III. En presencia de la cantidad de oxígeno necesaria los vapores se transforman en llamas, con gran aumento de humos y desprendimiento de calor.
- 4) Fase IV. Los gases y vapores desprendidos, en determinadas proporciones, pueden provocar explosiones.

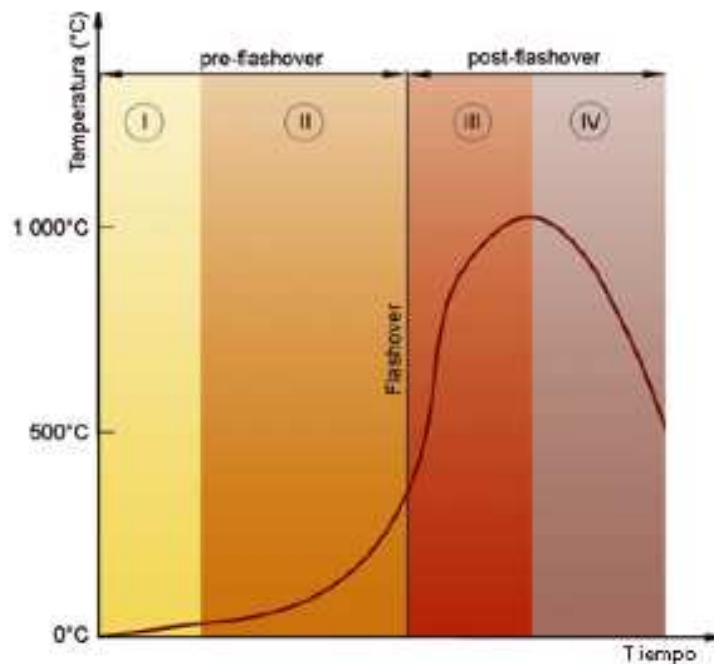


Figura 1: Fases de la evolución del fuego

(Fuente: Grau, Saladrigas & Arrizabalaga, 2007)

El crecimiento de un incendio se muestra al inicio de la fase III, y se lo denomina Flashover. “Se trata de la transición de un incendio, de su fase de desarrollo a la fase de incendio totalmente desarrollado, en la cual la liberación de energía térmica es la máxima posible, en función del combustible que se ve implicado en el mismo.” (Grau, Saladrigas & Arrizabalaga, 2007)

Es una combustión que afecta a todos los materiales que se encuentran en el incendio, entrando en combustión de forma súbita y casi simultánea. Este fenómeno se produce en incendios que cuentan con un suficiente aporte de oxígeno.

En cambio en sitios cerrados se produce una combustión incompleta por falta de oxígeno, todos los elementos se encuentran en el interior, adquieren una temperatura mayor que la de su punto de inflamación, pero no arden por falta de oxígeno. Al abrir una puerta, una ventana se introduce el aire aportando oxígeno con lo que prácticamente al instante empiezan a arder todos los materiales de forma violenta. Este fenómeno se lo conoce con el nombre de Backdraft.

El Flashover se produce en incendios ventilados, mientras que el Backdraft es un fenómeno asociado a incendios con deficiencia de ventilación.

Un incendio puede llegar a temperaturas que superen los 1000°C. La temperatura que puede llegar a alcanzar un incendio depende del tipo de material combustible, asimismo con el aporte suficiente de comburente y restringir la pérdida de calor del sitio.

El fuego alcanza su punto máximo cuando ocurre al flashover y empieza a decaer cuando se ha consumido la mayor parte del material combustible. Entonces, la reacción decrece su intensidad, haciéndose más lenta y llega al punto de detenerse por sí sola.

Si un incendio llega a la fase de flashover, es prácticamente imposible de extinguir. Se tiene que liberar toda la energía que se produce por el consumo del material combustible, esto suele pasar hasta que no llegue a la fase IV. Durante este tiempo, el cuerpo de bomberos suele concentrarse exclusivamente en evitar que el fuego llegue a otras zonas próximas que aún no han sido afectadas.

2.1.4 RESISTENCIA AL FUEGO

La resistencia al fuego se define por el tiempo que un elemento de construcción es capaz de soportar las condiciones de un incendio. Por ello se mide el tiempo en minutos durante el cual el elemento conserva la

estabilidad portante, la estanqueidad de las llamas y no emite gases inflamables.

La evaluación de la resistencia al fuego de cada material se debe realizar en un laboratorio aplicando un incendio normalizado. La resistencia de los materiales se las clasifica de la siguiente manera:

- A1:** No Combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego.
- A2:** No Combustible. Sin contribución en grado menor al fuego.
- B:** Combustible. Contribución muy limitada al fuego
- C:** Combustible. Contribución limitada al fuego
- D:** Combustible. Contribución media al fuego
- E:** Combustible. Contribución alta al fuego

2.1.5 FORMAS DE PROPAGACIÓN

Existen tres medios por los cuales el fuego se puede propagar a lo largo y ancho de una estructura. Una de ellas es la radiación, que constituye al desplazamiento de ondas de calor generado por un fuego que luego se transporta a los elementos próximos. También las ondas de calor pueden ser reflejas, por ejemplo, por planchas metálicas. Asimismo, influyen también las superficies oscuras, que son capaces de absorber el calor más rápido que las superficies de colores claros.

Los gases o vapores que se generan en un incendio pueden ser trasladados por convección. Esto quiere decir que cuando cualquier gas se calienta, éste se expande y se torna más ligero. Por lo tanto, va ascender. Cuanto más caliente se encuentre, mayor será su ascensión.

Por consiguiente, en los incendios los gases y el humo están a temperaturas tan elevadas, que al subir van calentando a temperaturas de ignición a todos los elementos que se encuentran a sus alrededores.

Por último el incendio se puede propagar por conducción, que depende netamente de la conductibilidad del material, que mide que tan rápido puede avanzar el calor a través de los elementos.

2.1.6 TIPOS DE INCENDIO

CLASE A: Son los incendios ocasionados por los combustibles como madera, textiles, papeles

CLASE B: Son los que ocurren por la presencia del vapor-aire que interactúa con un líquido inflamable, como gasolina, pinturas, aceite.

CLASE C: Incendios provocados por equipos eléctricos que se encuentran en funcionamiento. No son clasificados por el material que se quema, sino por el riego que tiene su extinción.

CLASE D: En esta categoría los incendios son originados por metales; tales como el magnesio, sodio, litio, aluminio.

CLASE K: Esta clase pertenece a una subclase de C pero causada por fuego de aceites vegetales o grasas animales.

2.2 INCENDIO NORMALIZADO

El incendio normalizado es la representación de una curva tiempo-temperatura, que se lo caracteriza como un incendio sistematizado para el estudio de resistencia al fuego de los distintos elementos estructurales.

Este incendio teórico, consiste de una curva teórica que representa un modelo de fuego totalmente desarrollado en un sector del incendio, y nos proporciona un valor de temperatura en función del tiempo transcurrido desde el inicio de dicho incendio.

La resistencia al fuego de los diferentes tipos de estructuras se mide por el tiempo que estos lleguen a soportar el incendio según la relación fijada en la

curva.

Por ello, para realizar estudios de resistencia al fuego en materiales, es necesario utilizar este modelo de incendio único que permita examinar la resistencia de distintos elementos. Existen distintos tipos de incendio como se mencionó anteriormente, que claramente tendrán distintas cargas de fuego. Debido a esto es vital la utilización de un modelo único de fuego. En cada uno de ellos influyen diversas variables que afectan el desarrollo de un incendio y de cómo el fuego actúa sobre el material, entonces el comportamiento de las estructuras y elementos e construcción no es del todo predecible. La curva ISO 834 es una curva aceptada internacionalmente como suficientemente conservadora ante el suceso de incendio y por consiguiente representa todos los incendios que puedan ocurrir.

La grafica de la curva tiempo-temperatura está definida por la siguiente ecuación:

$$T - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1)$$

Donde:

t = tiempo expresado en minutos contado desde el comienzo del ensayo.

T = es la temperatura del horno en el instante t, medida en °C.

T₀ = es la temperatura inicial del horno, medida en °C, la que está comprendida

Entre 0 y 40°C. Las condiciones simuladas representan condiciones de intensa gravedad del incendio.

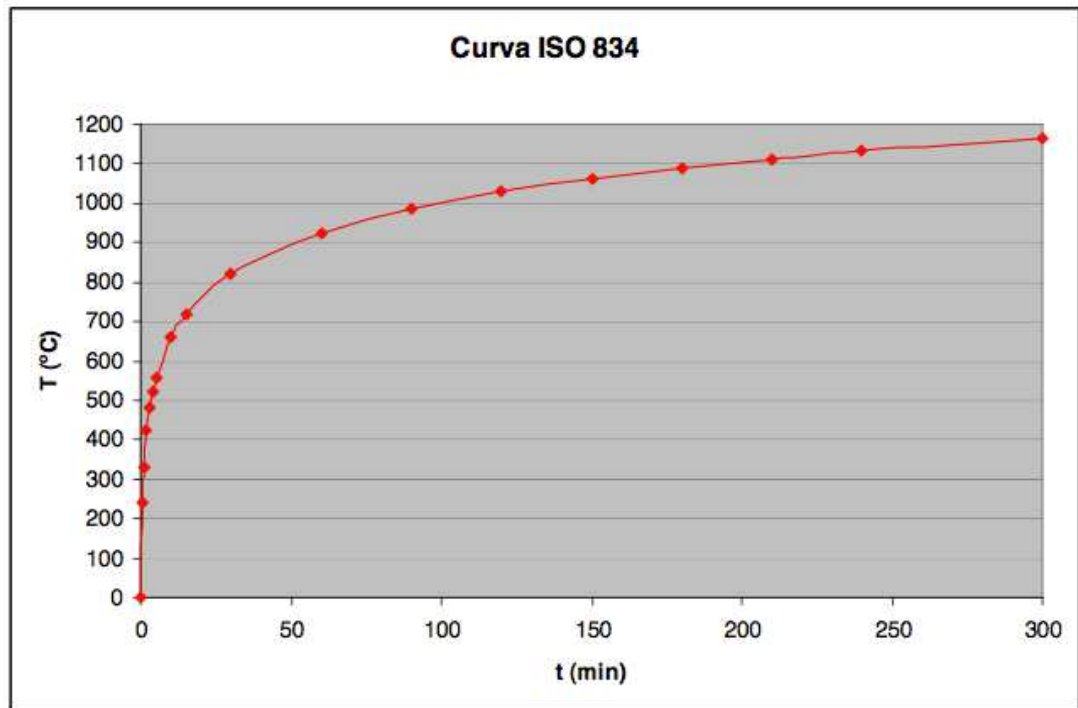


Figura 2: Gráfico Tiempo- Temperatura

(Fuente: Grau, Saladrigas & Arrizabalaga, 2007)

Si observamos en la gráfica tiempo-temperatura, debido a la elevada conductividad térmica del acero, las estructuras metálicas absorben rápidamente el calor que se produce en caso de un incendio. Alrededor de los primeros 10 minutos de transcurrir un incendio, éste llega aproximadamente a 250 grados Celsius; donde los elementos estructurales todavía no han perdido más de la mitad de su resistencia.

Luego de haber transcurrido 20 minutos desde el inicio de un incendio, alcanza a los 600 grados Celsius, donde prácticamente el acero ha disminuido un 70% de su resistencia. Temperaturas superiores de los

1200 grados Celsius el acero se empieza a fundir y queda obsoleto en todos los sentidos.

2.3 COMPARACIÓN INCENDIO NORMALIZADO - INCENDIO REAL

Es substancial hacer una comparación entre un incendio real y un incendio normalizado porque por medio de la curva tiempo-temperatura se analizaran los elementos estructurales.

Un incendio real difiere notablemente en su desarrollo del incendio normalizado, debido a que en el laboratorio hay factores que influyen en la intensidad y duración del fuego que no pueden estar presentes, por ejemplo, el tipo de material combustible y su distribución en el edificio, la ventilación, sistemas de extinción. Dos parámetros son los principales en su progreso:

- a) Carga de fuego.
- b) Superficie abierta de ventilación o factor de aberturas.

De acuerdo a Grau (2007), también son importante las propiedades térmicas de las paredes y pisos que delimitan el sector de incendio, ya que pueden detener o atrasar la progresión del incendio hacia otras áreas o sectores.

La diferencia entre el incendio real y el incendio normalizado puede observarse en la siguiente composición de curvas tiempo-temperatura:

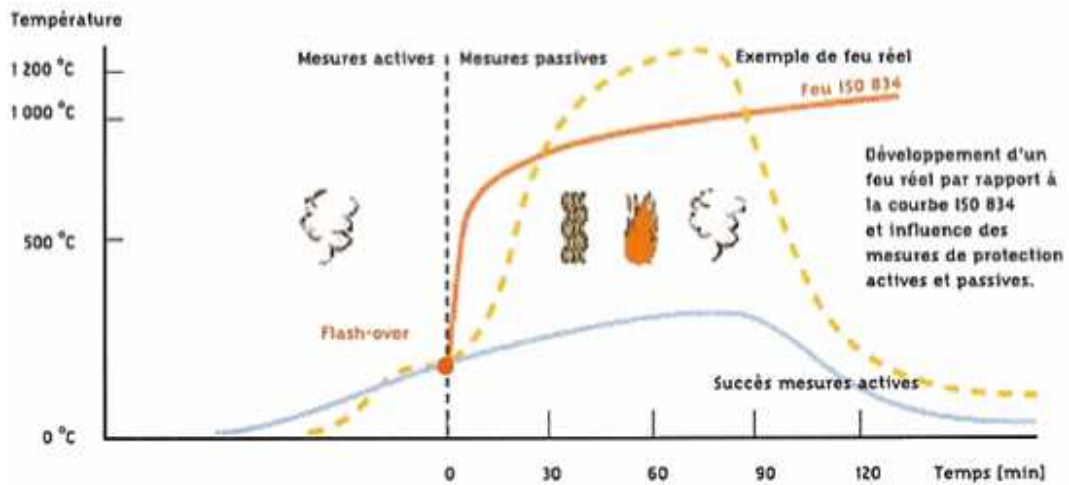


Fig III.3.1. Curva ISO 834 comparada con la curva de un incendio real desarrollado y de un incendio abortado gracias a la aplicación de medidas de extinción rápida (http://www.otua.org/Incendie/Images_Book/Feu003.gif)

Figura 3: Curva ISO 834 comparada con la curva de un incendio real desarrollado y de un incendio abortado gracias a la aplicación de medidas de extinción rápida.

(Fuente: Grau, Saladrigas & Arrizabalaga, 2007)

En esta grafica se muestran tres curvas, la de color anaranjado que representa el incendio normalizado, la curva entrecortada simboliza un incendio real y por último la curva azul sucede cuando el sitio donde ocurre el incendio se encuentra protegido por medidas de extinción automáticas.

En esta gráfica puede observarse como el incendio normalizado, representado por la curva ISO 834 no empieza con temperaturas mínimas que luego se incrementan, sino todo lo contrario. La curva inicia de una forma muy violenta, considerada como la fase de flashover, mientras que el fuego real ha empezado ya antes y tiene un desarrollo más pausado.

Además en el grafico podemos observar que está dividido en dos, medidas activas y medidas pasivas. Es en la fase pre-flashover donde se deben de tomar las medidas necesarias para controlar el incendio. La mayoría de

incendios pueden ser detenidos o pausados gracias a las medidas de extinción automática. En el caso de la curva azul se infiere que estas medidas han sido efectivas y se pudo evitar que el incendio entre en la fase crítica, donde eleva su temperatura y son muy pocas las medidas que logren apagar el incendio dentro de unos pocos minutos.

Cuando las medidas no sean efectivas o no se encuentren presentes, la temperatura asciende significativamente incluso por encima de lo marcado por la curva ISO 834, aunque al cabo de un plazo de tiempo la temperatura de la curva del incendio real decae rápidamente. Esto dependerá de las condiciones a las que se encuentra el sitio y del tiempo que tarde en consumir todo el material combustible. En la curva ISO 834 no existe esta fase de decaimiento, por lo contrario esta curva es logarítmica y continua creciendo.

Aunque el incendio real por motivos conocidos puede generar una curva con un pico mayor al de la curva normalizada, la curva ISO 834 mantiene la estructura más tiempo a una temperatura mayor, sometiéndola a unas condiciones que son más conservadoras. Debido a esto la curva ISO 834 se la utiliza para analizar el comportamiento de las estructuras metálicas frente al fuego.

CAPÍTULO 3: COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES FRENTE A LA ACCIÓN DEL FUEGO

3.1 PROPIEDADES ESFUERZO- DEFORMACIÓN UNITARIA

El acero es el material más usado en la fabricación de estructuras metálicas. Es una aleación de hierro (98%) y carbono (0.15% al 1.7%) más otros elementos. Estos porcentajes muy precisos son los que determinan las propiedades mecánicas del mismo. Los perfiles de acero son usados en puentes, edificios y torres de comunicación, porque tiene cualidades muy beneficiosas para la construcción.

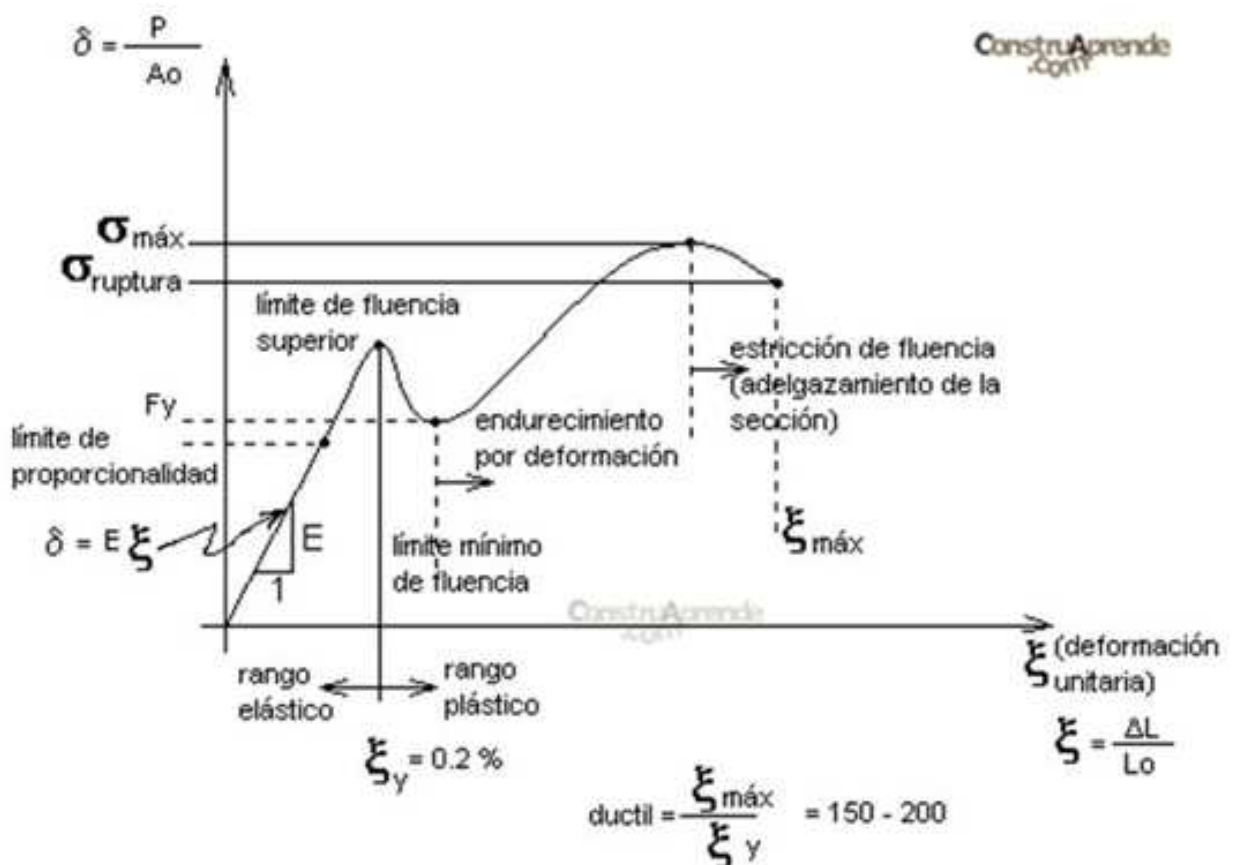


Figura 4: Gráfico Deformación- Esfuerzo del acero

(Fuente: Pino, 2011)

El acero posee una alta resistencia debido a la adición de uno o más agentes aleantes (Nb, V, Cr, Cu, Ni y otros) llegando a un esfuerzo ultimo de aproximadamente 70 ksi, también tiene homogeneidad y facilidad en sus uniones (soldabilidad, uniones apernadas).

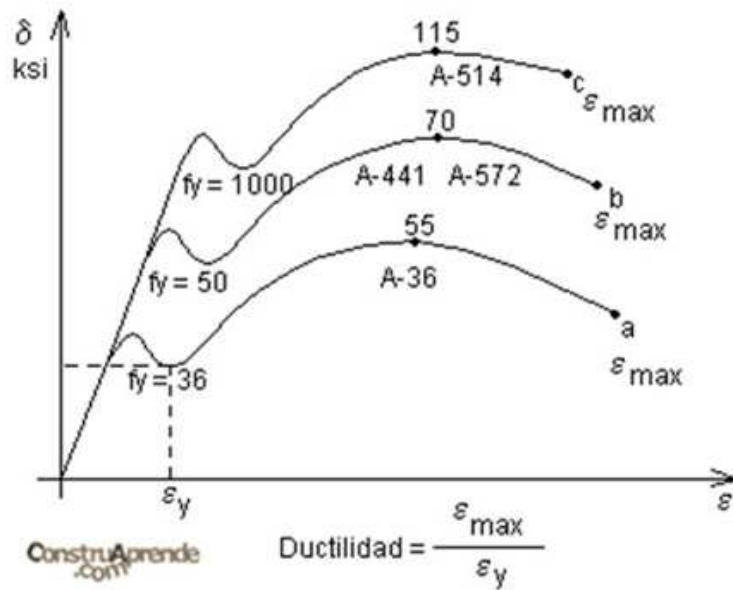


Figura 5: Gráfica Deformación- Esfuerzo para distintos aceros

(Fuente: Pino, 2011)

Adelante se muestra un cuadro más preciso de las propiedades como esfuerzo de fluencia y esfuerzo último de los distintos tipos de acero que son significativamente mayor que el hormigón que es el material construcción más usado en Ecuador.

El acero permite la construcción de estructuras más livianas, sin embargo muestra inseguridad cuando se presentan cambios de temperatura, debido a que sus propiedades mecánicas se alteran.

TABLE 1.1 Specified Minimum Properties for Structural Steel Shapes and Plates*

ASTM designation	Plate-thickness range, in	ASTM group for structural shapes†	Yield stress, ksi‡	Tensile strength, ksi‡	Elongation, %	
					In 2 in§	In 8 in
A36	8 maximum	1-5	36	58-80	23-21	20
	over 8	1-5	32	58-80	23	20
A573						
Grade 58	1½ maximum	¶	32	58-71	24	21
Grade 65	1½ maximum	¶	35	65-77	23	20
Grade 70	1½ maximum	¶	42	70-90	21	18
High-strength low-alloy steels						
A242	¾ maximum	1 and 2	50	70	21	18
	Over ¾ to 1½ max	3	46	67	21	18
	Over 1½ to 4 max	4 and 5	42	63	21	18
A588	4 maximum	1-5	50	70	21	18
	Over 4 to 5 max	1-5	46	67	21	—
	Over 5 to 8 max	1-5	42	63	21	—
A572						
Grade 42	6 maximum	1-5	42	60	24	20
Grade 50	4 maximum	1-5	50	65	21	18
Grade 60	1¾ maximum	1-3	60	75	18	16
Grade 65	1¾ maximum	1-3	65	80	17	15
A992	¶	1-5	50-65	65	21	18

Heat-treated carbon and HSLA steels

A633						
Grade A	4 maximum	¶	42	63-83	23	18
Grade C, D	2½ maximum	¶	50	70-90	23	18
	Over 2½ to 4 max	¶	46	65-85	23	18
Grade E	4 maximum	¶	60	80-100	23	18
	Over 4 to 6 max	¶	55	75-95	23	18
A678						
Grade A	1½ maximum	¶	50	70-90	22	—
Grade B	2½ maximum	¶	60	80-100	22	—
Grade C	¾ maximum	¶	75	95-115	19	—
	Over ¾ to 1½ max	¶	70	90-110	19	—
	Over 1½ to 2 max	¶	65	85-105	19	—
Grade D	3 maximum	¶	75	90-110	18	—
	4 maximum	¶	70	90-110	19	—
A852	4 maximum	¶	70	90-110	19	—
A913	¶	1-5	50	65	21	18
	¶	1-5	60	75	18	16
	¶	1-5	65	80	17	15
	¶	1-5	70	90	16	14

Figura 6: Tabla de las propiedades de los distintos aceros

(Fuente: Rojas, 2006)

3.2 EFECTO DE LA TASA DE DEFORMACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES A TENSIÓN

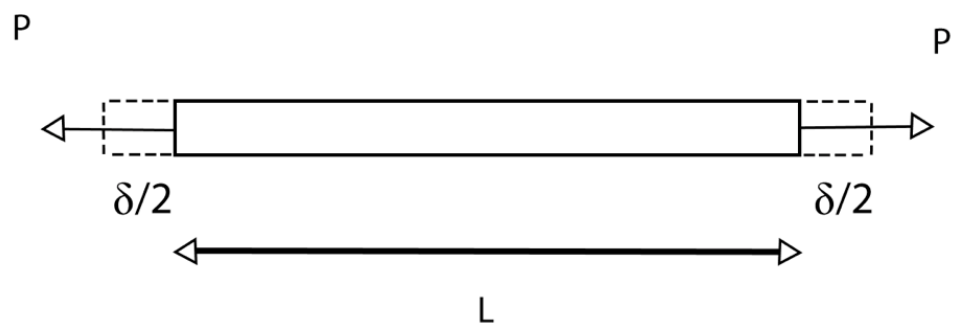


Figura 7: Barra de acero bajo efectos de temperatura

(Fuente: Procel, 2015)

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

ϵ Puede obtenerse a una determinada velocidad ϵ'

$$\epsilon' = \frac{d\epsilon}{dt} \left(\frac{\text{pulg}/\text{pulg}}{s} \right)$$

Para $T = -50^{\circ}\text{F}$ y $T = T_A$ (*temperatura ambiente*) ver gráfico numero 1 de la figura No. 8; el esfuerzo de fluencia tanto como el esfuerzo ultimo aumentan con el aumento de ϵ' .

Para $T = 600^{\circ}\text{F}$, para algunos acero el esfuerzo de fluencia y esfuerzo último disminuye con el aumento de ϵ' . (Ver gráfico 3 de la figura No. 8).

Se puede observar en los dos primeros gráficos que cuando ϵ' es mayor o igual a $0,01 \left(\frac{\text{pulg}/\text{pulg}}{s} \right)$, los esfuerzos de fluencia y esfuerzos últimos de los distintos aceros aumentan a medida que aumenta ϵ' . Por ejemplo el esfuerzo último para el A514 aumenta un 15%, asimismo el esfuerzo de fluencia aumenta un 48% para el A515.

En cambio para temperaturas de 600°F , que equivale a $315,56^{\circ}\text{C}$, los esfuerzos de fluencia y últimos decaen a medida que ϵ' .

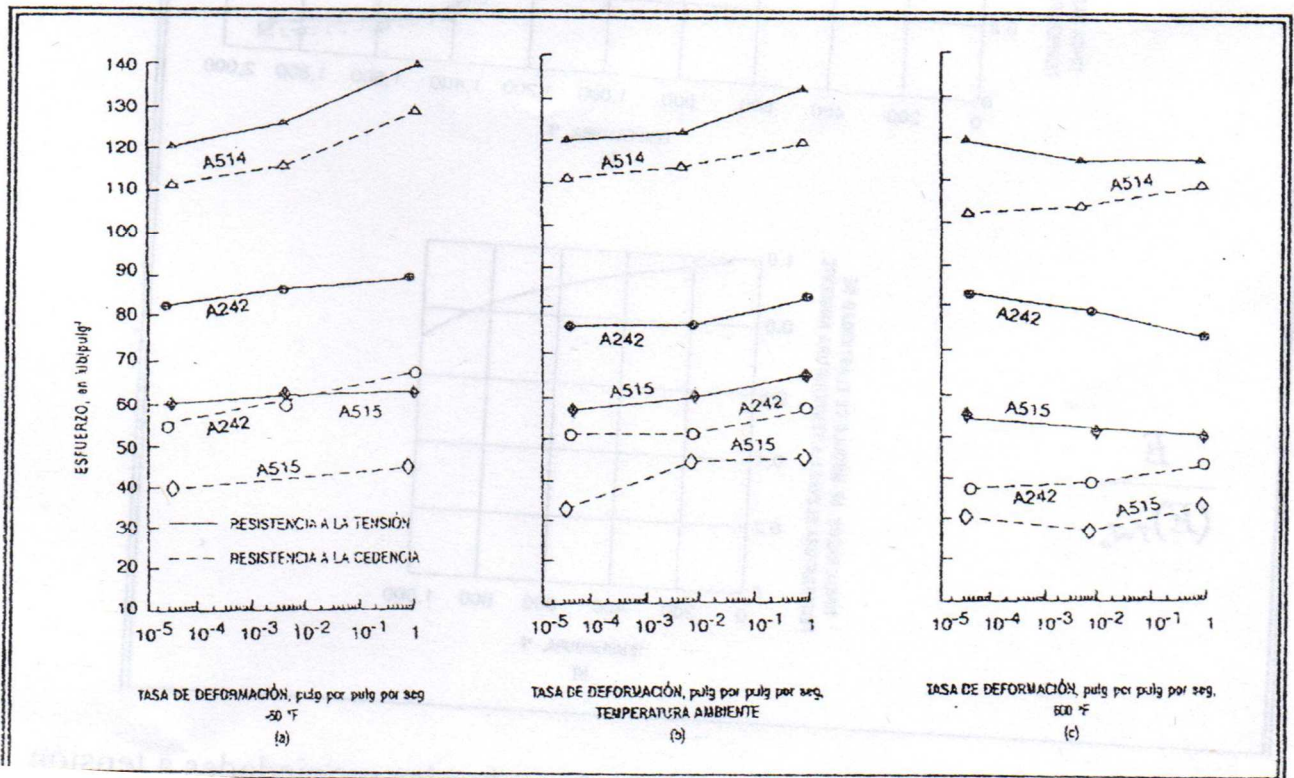


Figura 8: Efectos de la tasa de deformación sobre la resistencia de los aceros estructurales a la cedencia y a la tensión a temperatura baja, normal y elevada

(Fuente: Rojas, 2006)

3.3 EFECTOS DE LAS TEMPERATURAS ELEVADAS SOBRE LAS PROPIEDADES

3.3.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD

La estabilidad de los elementos estructurales básicamente dependen del material que los componen, donde las propiedades mecánicas se modifican con la temperatura.

Como se mencionó anteriormente, el acero tiene la capacidad para absorber las propiedades mecánicas, una de ellas es el límite elástico. La acción del fuego altera la plasticidad del acero y logra un desequilibrio de las tensiones.

Por ello la resistencia del acero ante el fuego se la determina a partir de la temperatura a la cual se presenta el fenómeno de plasticidad en él. Esta temperatura alcanza con facilidad toda la masa de la estructura y se extiende a toda la estructura debido a su alta conductividad térmica, 52 W/mK, esto muestra un aspecto negativo porque alcanza la temperatura crítica del acero en pocos minutos.

La variación del módulo de elasticidad con la temperatura se expresa con la siguiente ecuación:

$$E = 2,1 \times 10^6 [-17,2 \cdot 10^{-12} (T_{tp})^4 + 11,8 \cdot 10^{-9} (T_{tp})^3 - 34,5 \cdot 10^{-7} (T_{tp})^2 + 15,9 \cdot 10^{-5} (T_{tp}) + 1] \text{ kg/cm}^2.$$

Esta ecuación es válida para temperaturas del perfil $0^\circ \leq T_{tp} \leq 600^\circ \text{ C}$.

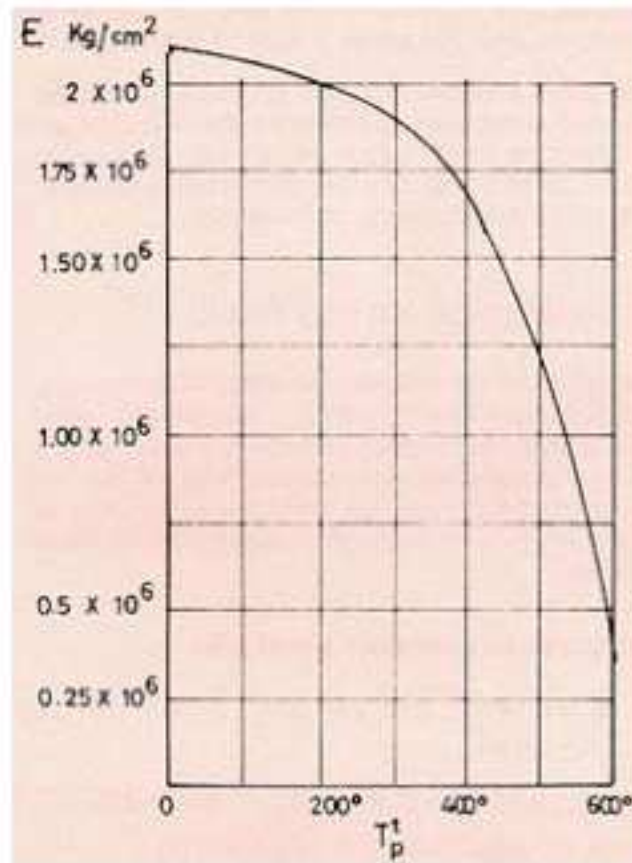


Figura 9: Evolución del módulo de elasticidad al variar la temperatura en un perfil de acero

(Fuente: Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales, 2007)

El módulo de elasticidad del acero estructural es de 2100000 kg/cm² a medida que aumenta la temperatura este se va modificando, podemos observar en la figura que a los 200 grados Celsius el módulo de elasticidad varía muy poco alrededor de un 5%. Si continuamos aumentando la temperatura a 400 grados Celsius el acero ya ha perdido 21% de su límite de elasticidad inicial. A los 600 grados Celsius solo le queda un 17,85% restante de su módulo de elasticidad inicial.

3.3.2 ESFUERZO-DEFORMACIÓN

Debido a la alta conductividad térmica del acero, el debilitamiento del material es generalizado, por esta razón, durante un incendio las fallas en la estructura se producen no sólo en las zonas expuestas al fuego sino también en áreas vecinas, lo que puede llevar incluso al colapso total. Además del debilitamiento del material, se suma un efecto de aumento de volumen por efecto del alza de la temperatura, lo que aumenta las tensiones internas. Es así que durante un incendio en una estructura metálica nos encontramos con una estructura más débil y con mayores esfuerzos, lo que se convierte en una situación muy desfavorable.

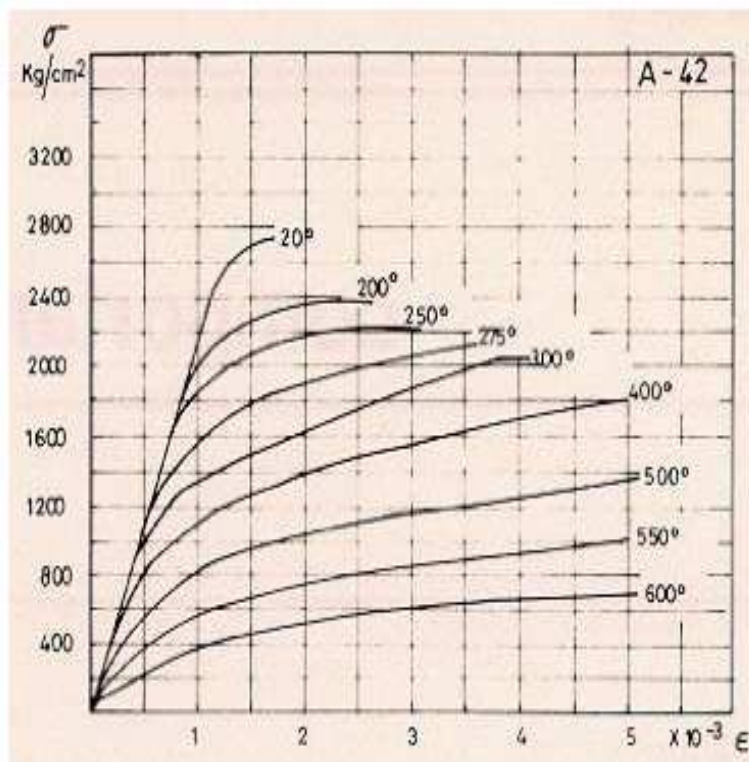


Figura 10: Diagrama de tensión del acero para distintas temperaturas vs su módulo de elasticidad.

(Fuente: Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales, 2007)

Puede comprobarse a través del gráfico que, por ejemplo, un acero a 600° de temperatura interna, aplicándole una tensión de 400 kg/cm², se obtiene la misma deformación que aplicándole 2.600 kg/cm² a 20° de temperatura. Este es un claro ejemplo de cómo las distintas cargas de temperatura son relevantes y afectan directamente en la estabilidad de una estructura.

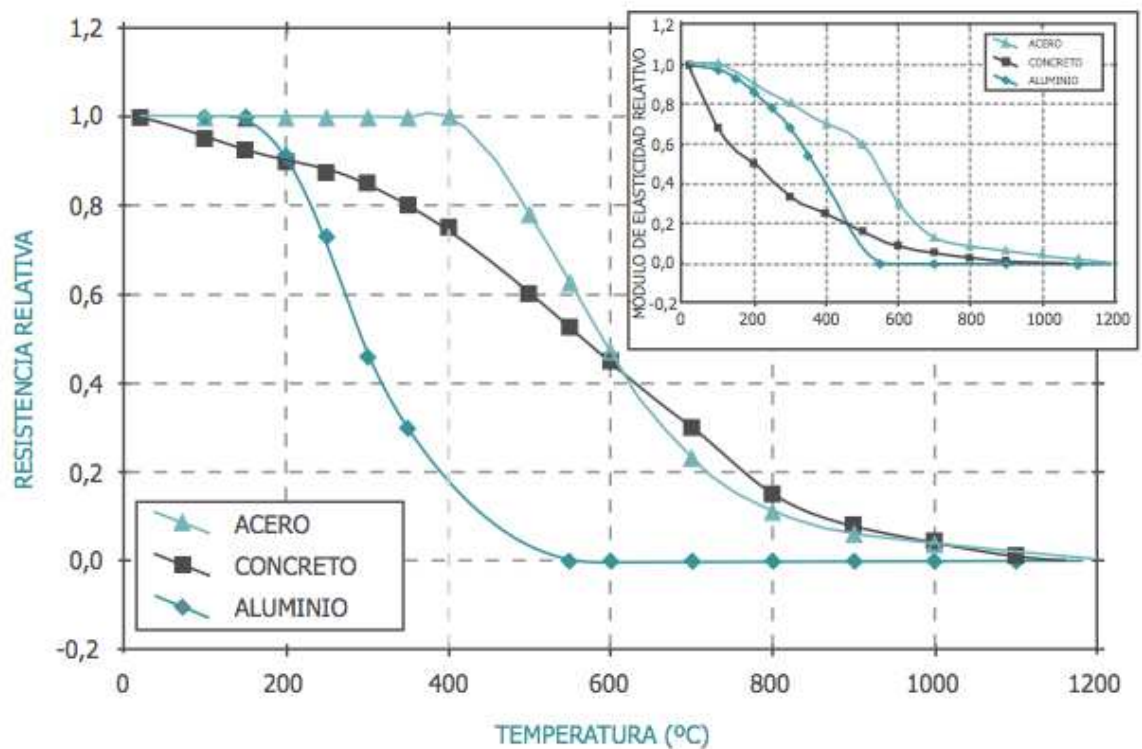


Figura 11: Resistencia relativa de diferentes materiales en función de temperatura.

(Fuente: Pannoni, 2008)

A partir de una temperatura de 250°C, se modifican la resistencia y el límite elástico del acero. Alrededor de una temperatura de 400°C, la caída de la resistencia es muy notable. Llegando a su temperatura crítica, que se la considera a los 500°C, la estructura no puede soportar la carga de diseño y

queda en riesgo su estabilidad portante. El coeficiente de pérdida de sus propiedades mecánicas supone que alrededor de los 600 °C éstas se reducen, aproximadamente, entre un 45 %. También en este gráfico podemos comparar el hormigón con respecto al acero y notamos que su pérdida de resistencia es más o menos lineal. Resistiendo un porcentaje insignificamente mayor que el acero a temperaturas entre 700 °C-1000°C.

CAPÍTULO 4: NORMAS INTERNACIONALES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CONDICIÓN DE FUEGO

Internacionalmente (AISC), estas normas entregan criterios para el diseño y evaluación de componentes, sistemas y marcos de acero estructural para condiciones de fuego. Estos ayudan a determinar el calor de entrada, expansión térmica y degradación de las propiedades mecánicas de materiales a elevadas temperaturas, las que causan disminución progresiva de resistencia y rigidez de componentes y sistemas estructurales.

4.1 OBJETIVO DE DESEMPEÑO

Según Ahumada (2010), el diseño de los componentes, miembros y sistemas de marcos estructurales debe mantener su función resistente durante el incendio de diseño y a su vez cumplir otros requerimientos de servicio, para la ocupación de la edificación.

Existe un criterio de deformación para los elementos estructurales. Estos tienen que ser aplicados donde los elementos puedan proveer la resistencia cuando ocurra un incendio.

4.2 DISEÑO MEDIANTE ANÁLISIS DE INGENIERÍA

Se utilizan métodos de análisis de la Sección 4.4 de este mismo capítulo que nos permiten conocer el comportamiento de los diferentes perfiles de acero cuando estos se encuentran sometidos a un incendio de diseño. Los métodos de la sección 4.4 cumplen con los objetivos establecidos en la Sección 4.1.

De acuerdo Ahumada (2010), el diseño estructural para las condiciones de incendio usando el Anexo 4.4 debe ser realizado usando el método de

diseño de factores de cargas y resistencias de acuerdo con las disposiciones de la Sección B3.3 (LRFD) del código AISC.

4.3. COMBINACIONES DE CARGA Y RESISTENCIA REQUERIDA

La resistencia que se necesita para una estructura y sus miembros debido a cambios de temperatura debe ser establecida por la siguiente combinación de carga:

$$[0,9 \text{ ó } 1,2] D + T + 0,5L + 0,2S \quad (A-4-1)$$

Donde

D = carga muerta nominal

L = carga viva ocupacional nominal

S = carga de nieve nominal

T = fuerzas y deformaciones nominales debido al incendio de diseño

4.4. DISEÑO ESTRUCTURAL POR ANÁLISIS PARA LA CONDICIÓN DE FUEGO

Se permite diseñar miembros, componentes y marcos estructurales de edificaciones para temperaturas elevadas de acuerdo con los requisitos de esta Sección.

4.4.1. INCENDIO DE DISEÑO

Es necesario identificar un incendio de diseño para detallar las condiciones de calentamiento que la estructura estará expuesta. De acuerdo Ahumada (2010), estas deben estar relacionadas con los establecimientos del material combustible y las características del sector presentes en el área del incendio en estudio. También es necesario especificar las condiciones de calentamiento estas pueden ser en términos de flujo de calor o temperatura de la capa superior de gas creada por el incendio. Para determinar la

duración del incendio, es necesario precisar la variación de las condiciones de calor en el tiempo.

4.4.2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA CONTRA EL FUEGO

Es necesario contar con un sistema de protección activa contra el fuego porque esta puede controlar las llamas de fuego antes que lleguen a la fase del Flashover y con ello ganar tiempo para la evacuación de los ocupantes. Debido a eso se deben considerar los efectos de los sistemas de protección activa contra el fuego al describir el incendio de diseño.

Las temperaturas resultantes tanto de las llamas como del humo deberán ser determinadas mediante cálculos en los lugares que tengan instalados ventiladores automáticos para humo, sprinkles y asimismo en espacios sin la protección activa contra el fuego.

4.4.3. TEMPERATURAS EN SISTEMAS ESTRUCTURALES BAJO CONDICIONES DE INCENDIO

Las temperaturas va a influir en la resistencia de los miembros, componentes y marcos estructurales debido a las condiciones de calentamiento atribuidas al el incendio de diseño. Por medio de un análisis de transferencia de calor sus propiedades mecánicas se modifican, por esta razón los elementos estructurales perderán cierto porcentaje de las distintas propiedades del acero.

4.4.3.1. ELONGACIÓN TÉRMICA

El coeficiente de expansión debe ser calculado de la siguiente manera:

$$20^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 750^{\circ}\text{C} \quad \epsilon_{\theta} = 10^{-6}[12 + 0.004(\theta_a - 20)](\theta_a - 20)$$

$$750^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 860^{\circ}\text{C} \quad \epsilon_{\theta} = 1.1 \cdot 10^{-2}$$

$$860^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad \epsilon_{\theta} = 2.2 \cdot 10^{-5} \theta_a - 6.2 \cdot 10^{-3}$$

4.4.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURAS ELEVADAS

“Debe ser tomado en cuenta el deterioro de la resistencia y rigidez en los miembros, componentes y sistemas estructurales; cuando se realice el análisis estructural del marco. Los valores $F_y(T)$, $F_p(T)$, $F_u(T)$, $E(T)$, $G(T)$, $f_c(T)$, $E_c(T)$ y $\epsilon_{cu}(T)$ a temperaturas elevadas son la razón respecto a cada propiedad del acero a temperatura ambiente, supuesta como 20 °C (68 °F),” (Ahumada, 2010), los cuales deben ser usados en el análisis estructural para encontrar los verdaderos esfuerzos a los que estarán sometidos en la estructura. Estas propiedades están definidas en la siguiente Tabla A-4.2.1.

TABLA A-4.2.1 Propiedades del Acero a Temperaturas Elevadas				
Temperatura del Acero °F (°C)	$K_E = E(T)/E = G(T)/G$	$K_p = F_p(T)/F_y$	$k_y = F_y(T)/F_y$	$k_u = F_u(T)/F_y$
68 (20)	1,00	1,00	1,00	1,00
200 (93)	1,00	1,00	1,00	1,00
400 (204)	0,90	0,80	1,00	1,00
600 (316)	0,78	0,58	1,00	1,00
750 (399)	0,70	0,42	1,00	1,00
800 (427)	0,67	0,40	0,94	0,94
1000 (538)	0,49	0,29	0,66	0,66
1200 (649)	0,22	0,13	0,35	0,35
1400 (760)	0,11	0,06	0,16	0,16
1600 (871)	0,07	0,04	0,07	0,07
1800 (982)	0,05	0,03	0,04	0,04
2000 (1093)	0,02	0,01	0,02	0,02
2200 (1204)	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 12: Tabla de Propiedades del acero a temperaturas elevadas

(Fuente: Ahumada, 2010)

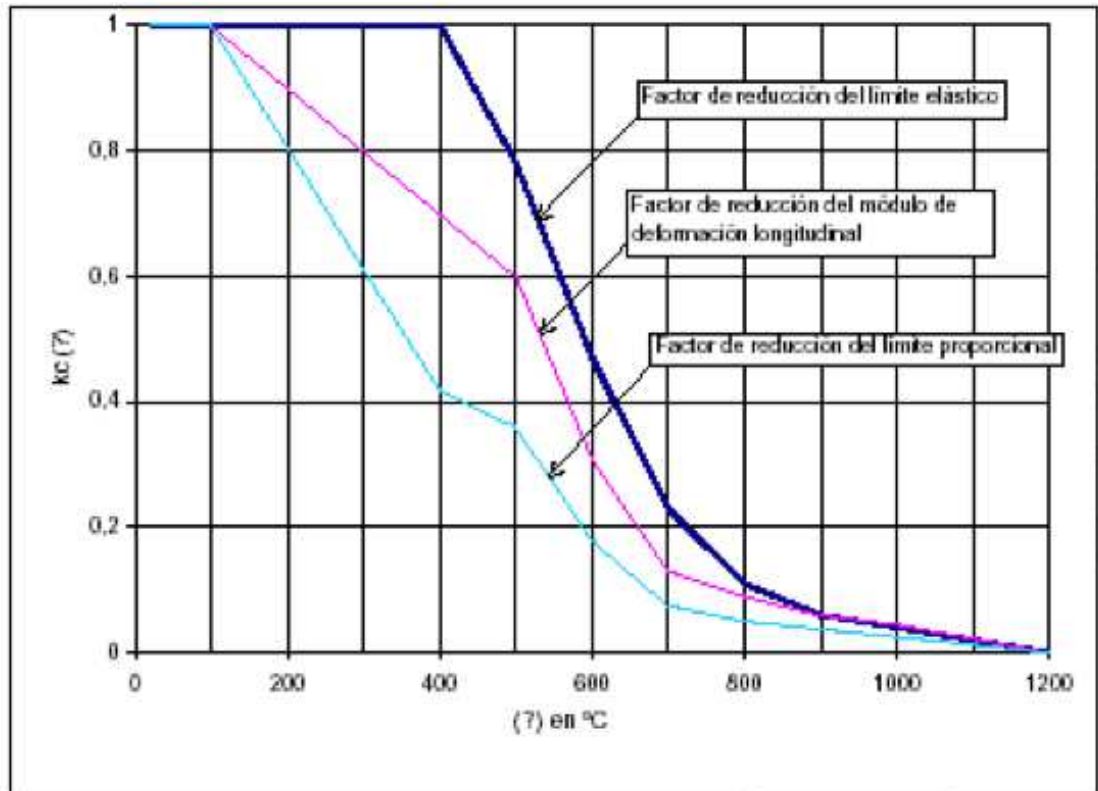


Figura 13: Gráfico de la pérdida de resistencia en % a temperaturas elevadas

(Fuente: Ahumada, 2010)

4.4.4. REQUISITOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

4.4.4.1. INTEGRIDAD ESTRUCTURAL GENERAL

Para soportar las acciones que se desarrollan durante el incendio, el marco estructural debe ser idóneo para dar resistencia y tener la capacidad de deformación adecuada para que se encuentre dentro de los límites de deformación recomendados. La integridad debe ser tal que, cuando el sistema estructural sufra algún daño local, este pueda ser sustentado mientras el sistema estructural actuando como un todo persista sólido.

Se debe transferir todas las fuerzas desde la zona expuesta hasta al punto final de resistencia, para ello se deben colocar trayectorias de carga

continuas. El establecimiento debe ser diseñado para resistir las fuerzas y para acomodar las deformaciones desarrolladas durante el incendio de diseño.

4.4.4.2. REQUISITOS DE RESISTENCIA Y LÍMITES DE DEFORMACIÓN

De acuerdo Ahumada (2010), se debe demostrar la conformidad del sistema estructural mediante un modelo matemático de la estructura, evaluando este modelo para las distintas fuerzas internas y deformaciones en los elementos de la estructura sometidos al efecto de la temperatura del incendio de diseño.

Tanto los miembros individuales como la estructura actuando como un todo, deben tener la resistencia adecuada para soportar los cortes, fuerzas axiales y momentos determinados de acuerdo con estas disposiciones.

Las conexiones deben estar diseñadas para desarrollar la resistencia de los elementos conectados o las fuerzas que se presenten en el incendio de diseño. Una de las formas de dar resistencia al fuego a la estructura es considerando los criterios de deformación, es decir las deformaciones de los elementos o del sistema estructural bajo las diferentes cargas de temperaturas de un incendio de diseño, las cuales no deben exceder los límites admisibles.

4.4.4.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

4.4.4.3.1 MÉTODOS SIMPLES DE ANÁLISIS

Según Ahumada (2010), la evaluación del desempeño de los elementos individuales se la puede hacer a través de los métodos de análisis de esta Sección considerando las temperaturas elevadas a las que estarán sometidos los miembros durante un incendio.

Permanecen constantes durante la exposición de un incendio las condiciones de apoyo y restricciones que se aplican a temperaturas normales, tales como restricciones de fuerzas, momentos y condiciones de borde.

(1) Miembros en tracción

“La resistencia de diseño de un miembro en tracción debe ser determinada utilizando las disposiciones del Capítulo D, con las propiedades del acero como se estipula en la Sección 4.2.3 y suponiendo una temperatura uniforme sobre la sección transversal igual a la temperatura ocurrida en el incendio de diseño.” (Ahumada, 2010)

La resistencia de diseño en tracción (método LRFD) ϕP_n , o la resistencia admisible en tracción (con el método ASD) P_n/Ω , de miembros traccionados, debe ser el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia en tracción calculado en la sección bruta y ruptura en tracción calculado en la sección neta. Donde los esfuerzos de fluencia y último van a estar condicionados por el cambio de temperatura.

- a) Para fluencia en tracción en la sección bruta:

$$P_n = F_y(T) * A_g$$

$$\phi = 0,9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1,67 \text{ (ASD)}$$

- b) Para ruptura en tracción en la sección neta:

$$P_n = F_u(T) * A_e$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

Donde:

A_e = área neta efectiva, cm² (mm²).

A_g = área bruta del miembro, cm² (mm²).

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, kgf/cm² (MPa).

F_u = tensión última mínima especificada, kgf/cm² (MPa).

(2) Miembros en compresión

“La resistencia de diseño de un miembro en compresión debe ser determinada utilizando las disposiciones del Capítulo E, con las propiedades del acero como se estipula en la Sección 4.2.3 y en la Ecuación A-4-2 usado en vez de la Ecuación E3-2 y E3-3 para calcular la resistencia nominal en compresión para pandeo por flexión.” (Ahumada, 2010)

La resistencia de compresión nominal, P_n , debe ser determinada basada en el estado límite de pandeo por flexión:

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} * A_g \quad (E3 - 1)$$

Donde:

$\phi_c P_n$ = Resistencia de Diseño para pandeo flexionante

P_n = Resistencia Teórica o Nominal

ϕ_c = Factor de resistencia debido al pandeo (0,90)

F_{cr} = Esfuerzo crítico

Para $\lambda < \lambda_r$: Secciones sin elementos esbeltos

Sea F_e = Esfuerzo de Pandeo Elástico

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (\text{E3} - 4)$$

La tensión de pandeo por flexión, se determina como sigue:

a) Cuando $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$: Columnas cortas e intermedias;
intervalo inelástico

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] * F_y \quad (\text{E3} - 2)$$

b) Cuando $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$: Columnas largas; Pandeo Elástico

$$F_{cr} = 0,877 * F_e \quad (\text{E3} - 3)$$

Las ecuaciones E3-2 y E3-3 incluyen los efectos de los esfuerzos residuales y la falta de rectitud inicial de las columnas.

Donde

F_e = tensión de pandeo elástico determinada de acuerdo con Ecuación E3-4, o según lo especificado en Anexo 7, Sección 7.2.3 (b), o de acuerdo con un análisis de pandeo elástico, cuando es aplicable, kgf/cm² (MPa).

MÁXIMA RELACIÓN DE ESBELTEZ

$$RE^* = \frac{KL}{r} \leq 200$$

RE^* = Relación de esbeltez para los miembros a compresión.

La ecuación que se usara para el cálculo de la resistencia del miembro a compresión es la siguiente:

$$F_{cr}(T) = \left[0,42 \sqrt{F_y(T)/F_e(T)} \right] * F_y(T) \quad (\text{A} - 4 - 2)$$

Donde $F_y(T)$ es la tensión de fluencia para temperaturas elevadas y $F_e(T)$ es la tensión de pandeo elástico crítica calculada de la Ecuación E3-4 con el modulo elástico $E(T)$ para temperaturas elevadas. $F_y(T)$ y $E(T)$ son obtenidos usando los coeficientes de la Tabla A-4.2.1.

(3) Miembros en flexión

“La resistencia de diseño de un miembro en flexión debe ser determinada utilizando las disposiciones del Capítulo F, con las propiedades del acero como se estipula en la Sección 4.2.3 y en las Ecuaciones A-4-3 a A-4-10 empleadas en vez de las ecuaciones F2-2 a F2-6 para determinar la resistencia nominal en flexión para el pandeo lateral-torsional de miembros de doble simetría sin arriostamiento lateral.” (Ahumada, 2010)

La resistencia de diseño en flexión, $\phi_b Mn$, o la resistencia admisible en flexión, Mn/Ω_b , deben ser determinados de la siguiente manera:

(1) Para todas las disposiciones del capítulo:

$$\phi_b = 0,90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1,67 \text{ (ASD)}$$

Y la resistencia de flexión nominal, Mn , debe ser determinado de acuerdo con las Secciones F2 hasta F12.

(2) Las disposiciones en este capítulo están basadas en la suposición que los puntos de apoyo de vigas están restringidos contra la rotación en torno al

eje longitudinal (volcamiento).

(3) Para miembros con simetría simple con curvatura simple y todos los elementos doblemente simétricos:

C_b = el factor de modificación por pandeo lateral-torsional para diagramas de momento no uniformes cuando ambos extremos del segmento no arriostrado están restringidos a volcamiento.

$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3.0 \quad (\mathbf{F1 - 1})$$

Donde:

M_{max} = Valor absoluto del momento máximo en el segmento no arriostrado.

M_A = Valor absoluto del momento a una distancia de un cuarto del segmento no arriostrado.

M_B = Valor absoluto del momento en la mitad del segmento no arriostrado.

M_C = Valor absoluto del momento máximo a una distancia de tres cuartos del segmento no arriostrado.

R_m = Parámetro de mono simetría de la sección transversal.

La resistencia nominal de flexión, M_n , debe ser el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia (momento plástico) y pandeo lateral-torsional.

1. Fluencia

$$\phi M_n = \phi M_p = \phi F_y * Z_x \quad (\mathbf{F2-1})$$

Donde;

F_y = tensión de fluencia mínima especificada del tipo de acero utilizado, kgf/cm² (MPa).

Zx = módulo de sección plástico en torno al eje x, cm³ (mm³)

2. Pandeo Lateral-Torsional

- (a) Cuando $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica
- (b) Cuando $L_p < L_b \leq L_r$ (pandeo inelástico)

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) * \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\mathbf{F2 - 2})$$

- (c) Cuando $L_b > L_r$

$$\phi_b M_n = \phi_b F_{cr} * S_x \leq \phi_b M_p \quad (\mathbf{F2 - 3})$$

L_p = longitud entre puntos que están o arriostrados contra desplazamientos laterales de compresión de ala o arriostrado contra giro de la sección, cm (mm).

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_p}{r_{ts}} \right)^2} * \sqrt{1 + 0,078 * \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (\mathbf{F2 - 4})$$

Donde:

E = módulo de elasticidad del acero = 2,04x10⁶ kgf/cm² (200.000 Mpa)

J = constante torsional, cm⁴ (mm⁴)

S_x = módulo de sección elástico en torno al eje x, cm³ (mm³)

Las longitudes límites L_p y L_r se determinan a continuación:

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\mathbf{F2 - 5})$$

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} * \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \quad (\mathbf{F2 - 6})$$

Donde;

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (\mathbf{F2 - 7})$$

$c = 1$ Para perfiles I doblemente simétricos (**F2-8a**)

$$c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$$

Para canales (**F2-8b**)

h_o = Distancia entre centroides de las alas

E = Módulo de elasticidad del acero

J = Constante torsional, $pulg^4(mm^4)$ ver tablas de perfiles

C_w = Constante de alabeo, $pulg^6(mm^6)$ ver tablas de perfiles

Para el cálculo de los miembros a flexión se utilizan las siguientes ecuaciones:

a) Cuando $L_b \leq L_r(T)$

$$M_n(T) = C_b \left[M_r(T) + [M_p(T) - M_r(T)] \left[1 - \frac{L_b}{L_r(T)} \right]^{C_x} \right] \quad (\text{A-4-3})$$

b) Cuando $L_b > L_r(T)$

$$M_n(T) = F_{cr}(T) S_x \quad (\text{A-4-4})$$

Donde;

$$F_{cr}(T) = \frac{C_b \pi^2 E(T)}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (\text{A-4-5})$$

$$L_r(T) = 1,95 r_{ts} \frac{E(T)}{Fl(T)} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o} \right)^2 + 6,76 \left[\frac{Fl(T)}{E(T)} \right]^2}} \quad (\text{A-4-6})$$

$$M_r(T) = S_x F_L(T) \quad (\text{A-4-7})$$

$$F_L(T) = F_y (k_p - 0,3 k_y) \quad (\text{A-4-8})$$

$$M_p(T) = Z_x F_y(T) \quad (\text{A-4-9})$$

$$c_x = 0,53 + \frac{T}{450} \leq 3,0 \text{ donde } T \text{ es en } ^\circ\text{F} \quad (\mathbf{A - 4 - 10a})$$

$$c_x = 0,6 + \frac{T}{250} \leq 3,0 \text{ donde } T \text{ es en } ^\circ\text{C} \quad (\mathbf{A - 4 - 10b})$$

Las propiedades de los materiales para temperaturas elevadas [E(T) y Fy(T)] y los coeficientes k_p y k_y son calculados de acuerdo con la Tabla A-4.2.1, mientras que los otros términos son definidos en el Capítulo F.

CAPÍTULO 5: NORMAS NACIONALES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CONDICIÓN DE FUEGO

5.1 CÓDIGO CUERPO DE BOMBEROS GUAYAQUIL

Luego de haber analizado la norma internacional AISC, se hizo una investigación en las normas nacionales para analizar las especificaciones de los códigos de construcción aplicables y también se revisó si existía protección de las estructuras de acero contra la acción del fuego en el Código del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil.

El objetivo principal del Reglamento de Prevención Contra Incendios es la prevención y protección para la vida y los bienes de los ciudadanos en todo el territorio nacional, mediante medios de seguridad que deben ser adoptados en la planificación de una construcción.

De acuerdo Alfaro (1998), para planificar las acciones en cuanto la prevención de incendios, se tomaron se cuenta tres aspectos fundamentales:

- ❖ La posibilidad de daño a la salud o a la vida de las personas, estas requieren salidas o escapes seguros que faciliten la evacuación del edificio en el menor tiempo posible.
- ❖ La posibilidad de propagación de un incendio en el interior del edificio, está relacionado con la carga de incendio, que va a determinar la duración del incendio.
- ❖ La posibilidad de propagación del incendio desde el exterior al interior del edificio a través del aire libre, áreas circundantes.

A continuación se mostraran los artículos del Cuerpo de Bombero más relevantes sobre la protección del fuego.

DE LA INSTALACIÓN DE BOCAS DE INCENDIO

“Art. 115.- Bocas de incendios.-Es una instalación de extinción constituida por una serie de elementos acoplados entre sí a la red de abastecimiento de agua, que cumpla las condiciones de presión y caudal necesarios.” (Méndez, 2009)

“Art. 116.- Desde la tubería para servicio contra incendios se derivará una red en cada planta, que cubra una superficie cubierta de 500 m² o fracción, sirviendo la terminación de la derivación como eje para la instalación de una boca de incendio o gabinete de mangueras en hierro galvanizado de 38 mm de diámetro (1 1/2”), al mismo que se conectará una válvula de paso con acople macho roscado NST, para uso de bomberos y de pitón regulable.” (Méndez, 2009)

COLUMNA DE AGUA PARA INCENDIOS

“Art. 123.- La columna seca es una instalación de uso exclusivo para el servicio de extinción de incendios. Es una tubería dispuesta verticalmente en los edificios, con entrada en la fachada y salidas en las plantas.” (Méndez, 2009)

“Art. 124.- La columna seca será de hierro galvanizado, de 80 mm de diámetro o cualquier material resistente al fuego y calor capaz de soportar, como mínimo, una presión de 20 Kg/cm², durante dos horas y de un

diámetro ajustado al rendimiento del equipo de presurización para obtener la presión mínima, pero en ningún caso inferior a 63.5 mm de diámetro.” (Méndez, 2009)

RESERVA DE AGUA EXCLUSIVA PARA INCENDIOS

“Art. 131.- En aquellas edificaciones donde el servicio de protección de incendios requiera de instalación estacionaria de agua para incendios, se debe prever el caudal suficiente, aún en caso de suspensión del suministro energético de agua de la red general (municipal), por ejemplo, tanques de reserva de agua siempre llenos, ubicados en el último piso y conectados a la columna de agua para incendios.” (Méndez, 2009)

“Art. 132.- La reserva de agua para incendios estará determinada por el cálculo que efectuará el Cuerpo de Bomberos en base a la demanda, para sofocar el inicio del flagelo.” (Méndez, 2009)

DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN

“Art. 137.- Es la ruta de salida de circulación comunal, continua y sin obstáculos, desde cualquier zona del edificio, que conduzca a la vía pública, siempre que este sector de incendio sea considerado de riesgo nulo.” (Méndez, 2009)

EXTINTORES DE INCENDIO

“Art. 173.- Son aparatos portátiles de utilización inmediata destinados a la extinción de incendios incipientes.” (Méndez, 2009)

“Art. 174.- Todo establecimiento de trabajo, servicio al público, comercio, almacenaje, espectáculos de reunión por cualquier concepto, o que por su uso impliquen riesgo de incendio, deberá contar con extintores del tipo adecuado a los materiales usados y a la clase de riesgo.” (Méndez, 2009)

ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE AGUA

“Art. 183.- Los rociadores automáticos de agua tiene por objeto el control y extinción de incendios que pueden producirse en los sectores protegidos por ellas mediante la descarga de agua pulverizada que se produce automáticamente sobre el área en que se origina el incendio.

Deberán colocarse en los sectores considerados de alto riesgo, conformando sectores de incendio debidamente separados de las restantes zonas del edificio mediante elementos de separación de una resistencia mínima de 2 horas.” (Méndez, 2009)

DISPOSICIONES GENERALES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS PARA EDIFICIOS ALTOS

“Art. 118.- Las estructuras de hierro o acero que se empleen en las edificaciones, deben recubrirse con materiales ignífugos, con un espesor mínimo de seis milímetros (6 mm).” (Méndez, 2009)

“Art. 127.- Todos los muros medianeros y divisorios entre departamentos habitacionales, se consideraran para efectos del presente reglamento, como muros exteriores en cuanto a su resistencia de un RF-60, debiendo observarse normativas, que de acuerdo al caso será determinada por el Cuerpo de Bomberos de cada jurisdicción.” (Méndez, 2009)

“Art. 147.- Los edificios construidos con estructura metálica deben presentar certificaciones de la soldadura utilizada según norma AWS D1.1 y la estructura metálica vista dispondrá de un tratamiento intumescente que garantice un RF-120.

Los componentes estructurales del edificio deben cumplir la resistencia mínima al fuego (RF-120), correspondiéndole el tipo de construcción No. 3 para la primera categoría (de 5 a 10 plantas) y el tipo No. 2 para la segunda categoría (de 11 a 16 plantas), según la Tabla 4 de la 1ra. Sección del CEC-PI-INEN.AWS-D1.1.” (Méndez, 2009)

“Art. 161.- En los establecimientos de edificación nueva, reforma o reestructuración, las paredes delimitadoras de las habitaciones deben ser al menos RF-60 y las puertas RF-30.

El conducto de escaleras constituirá un sector de incendio independiente, cerrado por límites resistentes al fuego. Para los edificios de la primera categoría se utilizarán puertas cortafuego RF-60 de cierre automático, y para los de la segunda categoría puertas cortafuego RF-90 de cierre automático, según norma NTE INEN 754; e iluminación de emergencia y señalización conforme a la norma NTE INEN 439.” (Méndez, 2009)

“Art. 150.- En los subsuelos, los sectores de incendio deben ser construidos con materiales retardantes al fuego con un mínimo de un RF-120 y tubería vista, debe cumplir con la norma NTE INEN 440.” (Méndez, 2009)

HOSPITALES, CLÍNICAS, CENTROS DE SALUD, LABORATORIOS CLÍNICOS, GERIÁTRICOS, ORFELINATOS Y SIMILARES

“Art. 189.- Los muros que separen las estructuras para estacionamientos de las ocupaciones de oficinas o habitaciones deben tener una clasificación RF-120.” (Méndez, 2009)

Existen normas nacionales para la prevención de incendios, tanto sistemas contra incendios activos que corresponde a las sprinkles, detectores de alarma, extintores, reserva de agua necesaria dependiendo del tamaño del edificio, como así también los sistemas contra incendio pasivos que son las distintas protecciones que debe tener la estructura expuesta al fuego.

Se especifica que las paredes y puertas deben tener resistencia al fuego de 60 y 30 minutos respectivamente.

Nos informa poco cuando hace referencia al recubrimiento de material ignífugo, ¿por qué recubrir 6 milímetros? ¿Acaso todos los perfiles deben recubrirse según lo que recomienda la norma?

Por eso se tiene que mejorar los conocimientos y métodos de análisis para estar informados correctamente y poder valorar el rubro de protección.

5.2 NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN

Luego continúo la investigación a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, si revisando cuenta con algún método de diseño para eventos accidentales como los de un incendio.

En el AISC si utilizan las mismas ecuaciones para diseñar en compresión, tracción y flexión, pero varían las propiedades, porque se les reduce un porcentaje del original.

En el NEC se menciona la carga de fuego como carga accidental. En la sección 3.3 de cargas accidentales, la cual se muestra a continuación:

3.3. Cargas accidentales

3.3.1. Cargas sísmicas

El diseñador se referirá a los códigos:

- [NEC-SE-DS](#): Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente
- [NEC-SE-RE](#): Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras

3.3.2. Incendio, choques de vehículos, etc.

En la presente versión de la [NEC-SE-CG](#), no se tomarán en cuenta estas cargas.

Figura 14: Cargas accidentales según NEC-15

(Fuente: Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

Pero no se establecen normas o especifican combinaciones de carga donde se incluyan los cambios de temperatura ambientales en el capítulo 1 “Cargas (no sísmicas)

En Guayaquil no existen cambios bruscos de temperaturas, las mismas que oscilan generalmente entre los 22° C y los 28° C.

Según Humberto (2016), en la Sierra si existen cambios bruscos de temperatura en el transcurso del día. La temperatura media oscila entre los 7°C y los 21°C, este clima es variado por la presencia de la cordilla de los Andes. Las temperaturas extremas son características de la región como asimismo su variación durante un mismo día. Se pueden tener días muy calientes, tardes lluviosas y noches frías.

En la Amazonía el clima es cálido húmedo, con temperaturas promedio de 25°C a 38 °C y una humedad ambiente del 90%.

Los cambios de temperatura ambiental sí se convierte en un factor importante para la Sierra, pues tienen una variación de 14 grados Celsius en el día y puede causar deformaciones significativas en el acero.

La deformación inevitable es causada por variaciones de temperatura en el interior de los elementos que tienen como resultado los cambios volumétricos. Son producto de tensiones térmicas, debido a que se produce una variación de expansión entre la superficie y el núcleo durante el calentamiento y contracción diferente durante el enfriamiento. Si se considera en las etapas de diseño y producción los factores que sufren el cambio bajo los cambios de temperatura, la deformación que gobernara en cada caso podrá compensarse o controlarse.

Acontecen cambios de forma de los elementos estructurales por procedimientos de la naturaleza, es decir por cambios bruscos de temperaturas, porque estos producen tensiones térmicas en el interior de los elementos por la diferencia de temperatura entre la parte superior y el núcleo. Estas situaciones pueden ocurrir durante el calentamiento y en particular durante el enfriamiento rápido de los elementos que lo componen.

La temperatura de la zona superficial disminuye más rápidamente que en el núcleo, durante el enfriamiento. Cuando el núcleo sufre menos contracciones, este imposibilita mayores contracciones en la zona superficial.

Este hecho va a producir tensiones de compresión en el núcleo y tensiones de tracción en la superficie. El elemento estructural quedaría libre de tensiones si el material fuese capaz asumir una deformación elástica, es decir que la deformación del material vuelve a su estado original. Esto

ocurriría cuando la temperatura del núcleo se iguala a la temperatura superficial.

En general, la resistencia a altas temperaturas de un material no es lo suficientemente alta para lograr tal estado libre de tensiones. Si se excede el límite elástico en caliente, ocurrirá una deformación plástica que conduce a una deformación inevitable que no va a lograr recuperarse haciéndola irreversible.

Debido a esto es fundamental que los cambios de temperatura ambientales en la Sierra ecuatoriana sean considerados dentro del análisis estructural en acero, porque va a modificar tanto las fuerzas como los esfuerzos y se deberá tener en consideración que sus propiedades mecánicas experimenten también modificaciones con respecto a la correspondiente temperatura inicial.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción no hace relevancia alguna de los posibles daños permanentes que pueda sufrir los diferentes elementos estructurales por cambios de temperatura. Al final del capítulo 1 se muestra un esquema de todas las cargas que actúan sobre una estructura con sus posibles combinaciones pero no se toma en cuenta la carga de cambios de temperatura ambientales.

4.3. Esquema conceptual de la NEC-SE-CG



Figura 15: Esquema conceptual de las combinaciones de cargas según NEC-15

(Fuente: Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

CAPÍTULO 6: EFECTO DE LA TEMPERATURA EN ARMADURAS METÁLICAS

La primera hipótesis que se planteó en esta tesis era que es apropiado aumentar la sección de los perfiles de acero para controlar o compensar los cambios de temperatura sobre los elementos. Para ello se estudió una armadura metálica que está sometida a dos cargas; carga viva y muerta. Se asume que la armadura se la utiliza como cubierta y que a cada 6 metros se coloca una de ellas contando con seis armaduras en el edificio de 30 m de largo. Lo que se quiere demostrar es que si se suman los esfuerzos por temperatura a los esfuerzos por peso propio y por ocupación, será necesario incrementar el área de las secciones transversales. El aumento de las secciones resulta una posible opción de diseño tanto en el sentido económico como estructural.

La armadura sencilla que se muestra en la figura está sometida a las siguientes condiciones de carga:

- a) Cargas concentradas de 750 kg por carga muerta y 1680kg por carga viva, que se encuentra ubicada en la junta B.
- b) Una carga debida a la temperatura con aumento de la temperatura de los miembros en 100 grados Fahrenheit más que la temperatura inicial.

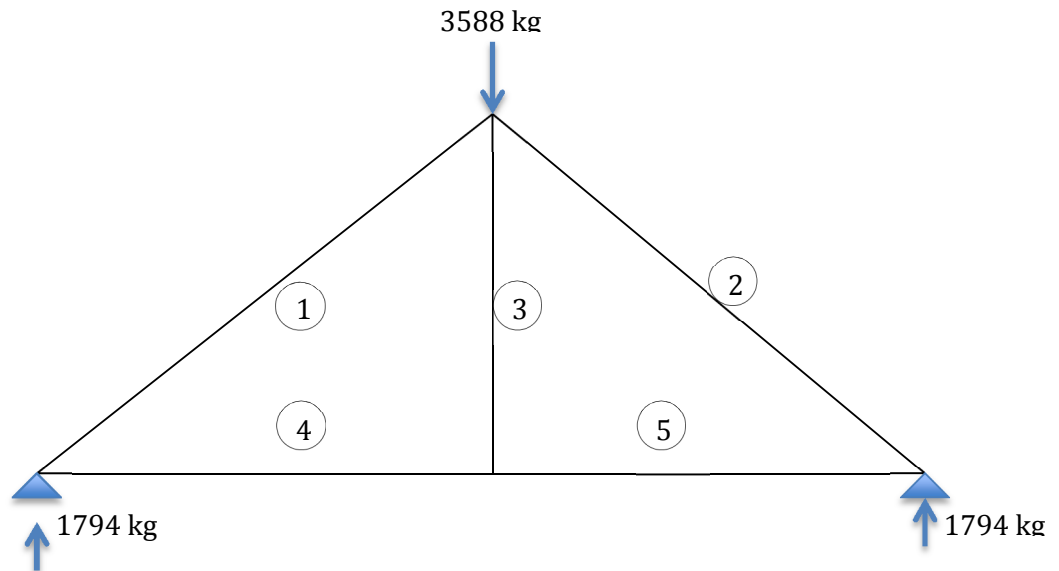


Figura 16: Armadura en estudio

(Fuente: Procel, 2015)

El módulo de elasticidad del acero es de 2100000 kg/cm² y tiene un coeficiente de dilatación térmica de $6,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$.

6.1 COMBINACIÓN DE CARGA

Se debe utilizar la combinación 1 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción que corresponde:

$$U = 1,2DL + 1,6LL$$

$$U = 1,2(750) + 1,6(1680)$$

$$U = 3588 \text{ kg}$$

6.2 CÁLCULO DE REACCIONES EN APOYOS

Una vez calculada la fuerza que actuara en la armadura, se debe calcular las fuerzas internas de los elementos de la armadura. Las fuerzas internas debidas a las cargas en las juntas, son calculadas mediante un análisis de equilibrio en las juntas.

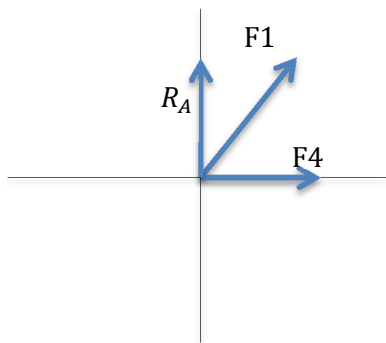
$$\sum M_A = 0$$

$$-3588 * (609,6) + R_B * (1219,2) = 0$$

$$R_B = \frac{2187244,8}{1219,2} = 1794 \text{ kg}$$

6.3 CÁLCULO DE FUERZAS INTERNAS

NODO 1



Se calculan las fuerzas internas de los elementos de la armadura por los distintos nodos que la compongan.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_4 + F_1 \cos \theta = 0$$

$$\tan \theta = \frac{457,2}{609,6}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{457,2}{609,6} = 36,86^\circ$$

$$F_4 + F_1 \cos 36,86^\circ = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$1794 + F_1 \sin 36,86^\circ = 0$$

$$F_1 \sin 36,86^\circ = -1794$$

$$F_1 = -\frac{1794}{\sin 36,86^\circ} = -2990,69 \text{ kg} \quad (\text{compresión})$$

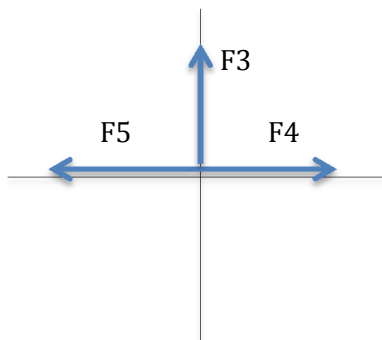
Reemplazo F_1 en la sumatoria de fuerzas en "x" y obtenemos la fuerza interna del miembro numero cuatro.

$$F_4 - F_1 \cos 36,86^\circ = 0$$

$$F_4 - 2990,69 \cos 36,86^\circ = 0$$

$$F_4 = 2990,69 \cos 36,86^\circ = 2392,86 \text{ kg} \quad (\text{tensión})$$

NODO 2



$$\sum F_x = 0$$

$$F_4 - F_5 = 0$$

$$2392,86 - F_5 = 0$$

$$F_5 = 2392,86 \text{ kg (tensión)}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_3 = 0$$

$$F_2 = -2990,69 \text{ kg (compresión)}$$

Una vez calculadas todas las fuerzas internas de los miembros que componen la armadura se deben calcular los esfuerzos por carga viva y muerta, como así también los esfuerzos por carga de temperatura.

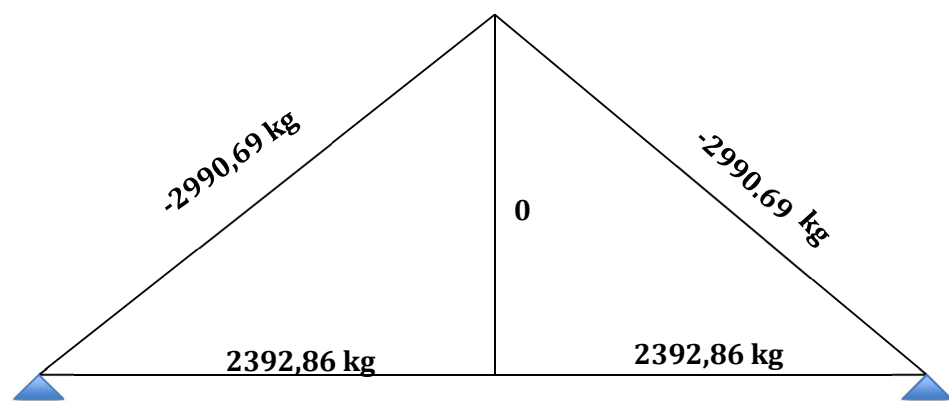


Figura 17: Fuerzas internas en los elementos de la Armadura

(Fuente: Procel, 2015)

6.4 ESFUERZOS POR TEMPERATURA

$$\epsilon = \alpha * \Delta T$$

$$\epsilon = \left(6,5 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{F}}\right) * 100^{\circ}\text{F}$$

$$\epsilon = 0,00065$$

$$\sigma = E * \epsilon$$

$$\sigma = 2100000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0,00065$$

$$\sigma = 1365,00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

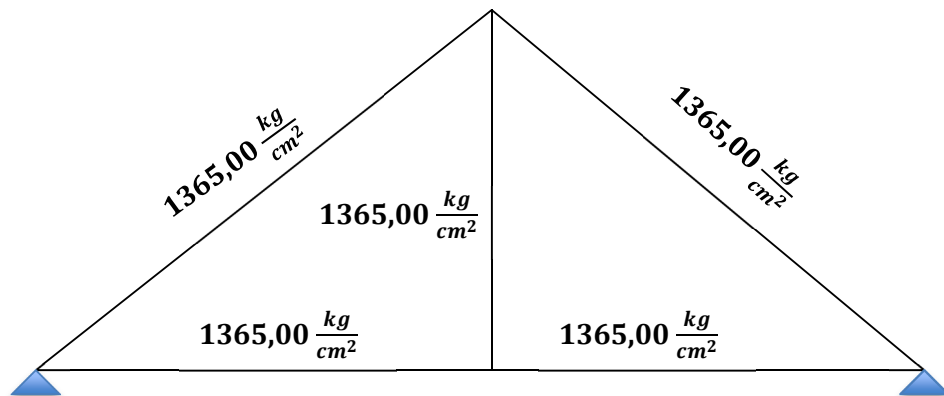


Figura 18: Esfuerzo en el elemento de la Armadura

(Fuente: Procel, 2015)

6.5 ESFUERZOS POR CARGAS VIVA Y MUERTA

Los esfuerzos internos sobre una sección transversal plana de un elemento estructural se definen como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente equivalentes a la distribución de tensiones internas sobre el área de esa sección.

Sabemos que el esfuerzo de una sección transversal va a estar dado por:

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$$

Entonces para encontrar los esfuerzos para la carga viva, muerta son:

a) $P \leq P_{cr} = \frac{\pi^2 EA_g}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2}$, se hace este análisis porque la barra esta sometida a

una carga axial igual a la carga critica P_{cr} , ocurre entonces una deformación repentina lateral y/ o rotacional en la dirección normal del eje de la barra.

b) $P \leq P_{cr} = \frac{\pi^2 EA_g}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2}$, se toma en consideración el mismo análisis.

c) $\sigma_3 = \frac{F_3}{A_3} \leq \sigma_{admisible} = 3515 \text{ kg/cm}^2$

d) $\sigma_4 = \frac{F_4}{A_4} \leq \sigma_{admisible} = 3515 \text{ kg/cm}^2$

e) $\sigma_5 = \frac{F_5}{A_5} \leq \sigma_{admisible} = 3515 \text{ kg/cm}^2$

El efecto de la temperatura actúa directamente en las barras entonces por media de la siguiente gráfica nos ubicamos en la curva de temperatura mas próxima a los $37,78^\circ\text{C}$ asumimos que la deformación de las barras es de $1 \times 10^{-3} \text{ cm}$ y obtenemos un esfuerzo de 2400 kg/cm^2

Los esfuerzos para carga viva, muerta y carga de temperatura son los siguientes:

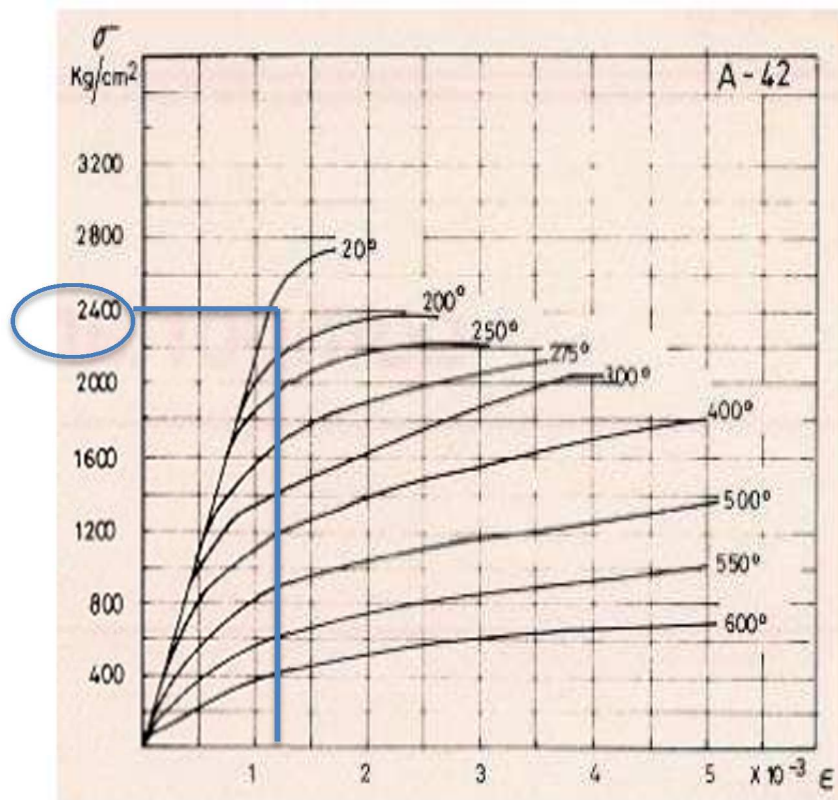
$$a) P - 1365 \leq P_{cr} = \frac{\pi^2 EA_g}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2},$$

$$b) P - 1365 \leq P_{cr} = \frac{\pi^2 EA_g}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2}$$

$$c) \sigma_3 = \frac{F_3}{A_3} + 1365 \leq \sigma_{admissible} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$d) \sigma_4 = \frac{F_4}{A_4} + 1365 \leq \sigma_{admissible} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$e) \sigma_5 = \frac{F_5}{A_5} + 1365 \leq \sigma_{admissible} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$



6.6 CÁLCULO DE ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL

El propósito de este capítulo es calcular el área de los diferentes elementos de la armadura, tanto para las cargas muertas y vivas, así como para la

acción del cambio de temperatura sumando a las cargas viva y muerta. Calcular un porcentaje de cuanto aproximadamente aumenta la sección transversal y si es viable tener la iniciativa de aumentar área cuando ocurren cambios bruscos de temperatura o situaciones no deseadas como incendios.

6.6.1 CÁLCULO ÁREA PARA CARGA MUERTA Y VIVA

$$1. P = P_{cr} = \frac{\pi^2 E A_g}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = F_{cr} * A_g$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 2100000}{\left(\frac{k * 762}{r}\right)^2}$$

donde;

$k = 0,7$, Depende del tipo de apoyo, en este caso un extremo tiene rotación y traslación libre mientras que el otro extrema tiene rotación libre y traslación impedida.

$$r = \sqrt{\frac{\text{Inercia}}{A}},$$

$r = \frac{l}{RE}$ donde RE para elementos principales es ≤ 200

$$r = \frac{762}{200} = 3,81$$

Entonces;

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 2100000}{\left(\frac{0,7 * 762}{3,81}\right)^2} = 1057,458 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = F_{cr} * A_g$$

$$\frac{P}{F_{cr}} = A_g$$

$$\frac{2990,69}{1057,45} = A_g$$

$$A_1 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$2. \sigma_3 = \frac{F_3}{A_3} \leq \sigma_{admissible} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$3515 = \frac{F_3}{A_3}$$

$$3515 = \frac{0}{A_3}$$

$$A_3 = 0 \text{ cm}^2$$

$$3. \sigma_4 = \frac{F_4}{A_4} \leq \sigma_{admissible} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$3515 = \frac{F_4}{A_4}$$

$$3515 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{A_4}$$

$$A_4 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{3515 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_4 = 0,681 \text{ cm}^2$$

$$4. \sigma_5 = \frac{F_5}{A_5} \leq \sigma_{admissible} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$3515 = \frac{F_5}{A_5}$$

$$3515 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{A_5}$$

$$A_5 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{3515 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_5 = 0,68 \text{ cm}^2$$

6.6.2 CÁLCULO DE ÁREA POR CARGA VIVA, MUERTA Y TEMPERATURA

$$1. \quad P_{cr} = \frac{\pi^2 E A_g}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = F_{cr} * A_g$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 2100000}{\left(\frac{k * 762}{r}\right)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 2100000}{\left(\frac{0,7 * 762}{3,81}\right)^2} = 1057,458 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = F_{cr} * A_g$$

$$\frac{P + 1365}{F_{cr}} = A_g$$

$$\frac{2990,69 - 1365}{1057,45} = A_g$$

$$\frac{1625,69}{1057,45} = A_g$$

$$A_1 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$2. \quad \sigma_3 = \frac{F_3}{A_3} + 1365 \leq \sigma_{admissible} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$2400 \text{ kg/cm}^2 = \frac{F_3}{A_3} + 1365$$

$$2400 \text{ kg/cm}^2 = \frac{0 \text{ kg}}{A_3} + 1365$$

$$1035 \text{ kg/cm}^2 = \frac{0 \text{ kg}}{A_3}$$

$$A_3 = 0 \text{ cm}^2$$

$$3. \quad \sigma_4 = \frac{F_4}{A_4} + 1365 \leq \sigma_{admissible} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$2400 \text{ kg/cm}^2 = \frac{F_4}{A_4} + 1365$$

$$2400 \text{ kg/cm}^2 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{A_4} + 1365$$

$$1035 \text{ kg/cm}^2 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{A_4}$$

$$A_4 = 2,312 \text{ cm}^2$$

$$4. \quad \sigma_5 = \frac{F_4}{A_4} + 1365 \leq \sigma_{admissible} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$2400 \text{ kg/cm}^2 = \frac{F_5}{A_5} + 1365$$

$$2400 \text{ kg/cm}^2 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{A_5} + 1365$$

$$1035 \text{ kg/cm}^2 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{A_5}$$

$$A_5 = 2,312 \text{ cm}^2$$

Resumen de los resultados:

Áreas:

$$A_1 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 0 \text{ cm}^2$$

$$A_4 = 0,681 \text{ cm}^2$$

$$A_5 = 0,68 \text{ cm}^2$$

Áreas con temperatura:

$$A_1 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 0 \text{ cm}^2$$

$$A_4 = 2,312 \text{ cm}^2$$

$$A_5 = 2,312 \text{ cm}^2$$

Con los resultados de las áreas podemos llegar a la conclusión que el incremento de áreas es muy significativo, estamos hablando de aumentar 340 veces más su sección transversal solo con una temperatura de 100°F, que equivale a 37,78°C. En el transcurso del día en Ecuador existe una variación menor, pero en caso de un incendio los 37,78 °C solo representarían la temperatura inicial. Pero observamos también que las barras a compresión con la temperatura tienen un alivio de esfuerzos porque las fuerzas se contra restan, por eso las secciones son menores.

Si tomáramos como prueba este ejemplo pero a una temperatura de 100°C (212°F), las fuerzas internas de los elementos de la armadura por carga viva y muerta no varían. Los esfuerzos por temperatura serían mayores.

$$\epsilon = \alpha * \Delta T$$
$$\epsilon = \left(6,5 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{F}} \right) * 212^\circ\text{F}$$

$$\epsilon = 0,001378$$

$$\sigma = E * \epsilon$$

$$\sigma = 2100000 \frac{kg}{cm^2} * 0,001378$$

$$\sigma = 2893,80 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma_4 = \frac{F_4}{A_4} + 2893,8 \leq \sigma_{admissible} = 2200 \frac{kg}{cm^2}$$

$$2200 = \frac{F_4}{A_4} + 2893,80 \frac{kg}{cm^2}$$

$$-693,8 \frac{kg}{cm^2} = \frac{F_1}{A_1}$$

$$A_1 = \frac{2392,86 \text{ kg}}{-693,8 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$A_1 = -3,45 \text{ cm}^2$$

El esfuerzo por temperatura supera al esfuerzo admisible que equivale a $2400 \frac{kg}{cm^2}$, esto quiere decir que el área será negativa. Para el caso de incendios que alcanza temperaturas considerablemente más altas, el incremento del área es tan grande que no sería posible utilizar este método como posible solución.

La columna encerrada en la figura No. 19 pertenece al pórtico de estudio. El pórtico consta de 6 luces entre 5,325 y 6,60 metros. En su tramo más corto tiene dos vigas secundarias, mientras que el vano más largo tiene tres vigas secundarias. Se eligió el pórtico L porque no tiene cambios de cota en su terreno, lo cual facilita el cálculo estructural. Las vigas son vigas W, las columnas son tubulares rectangulares y están rellenas de hormigón.

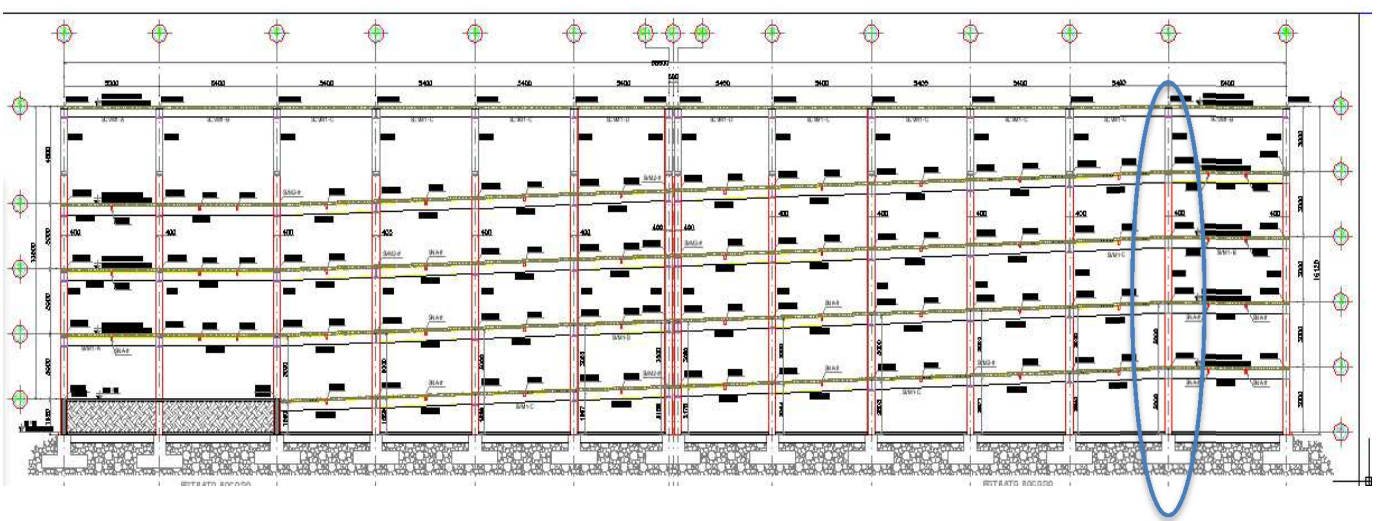


Figura 20: Vista en elevación Parquadero

(Fuente: Procel, 2015)

En la siguiente foto se muestra una imagen de la losa. La losa tiene una altura de 12 cm, con una loseta de 7 cm de alto. Tiene una separación entre nervios de 15 cm y como se muestra en la figura No. 21 se encuentra simplemente apoyada, fundida sobre un Steel panel.



Figura 21: Sección transversal de la losa
(Fuente: Procel, 2015)

La siguiente imagen nos muestra la plancha de Steel panel Además nos muestra dos vigas secundarias con los diafragmas que las unen.



Figura 22: Losa, vigas secundarias, diafragmas
(Fuente: Procel, 2015)

En la figura No.23 se muestra el vano corto donde se pueden observar las dos vigas principales que reciben dos vigas secundarias que transmiten carga puntual sobre ellas.



Figura 23: Vano cortó con vigas principales
(Fuente: Procel, 2015)

En cambio, la siguiente imagen es una perspectiva del vano largo, que está compuesto por dos vigas principales y tres secundarias, que distribuyen las cargas de la losa como cargas puntuales que deben resistir las vigas principales.



Figura 24: Vista Frontal de vigas principales perpendiculares
(Fuente: Procel, 2015)

7.2 CÁLCULO DE CARGAS ACTUANTES

7.2.1 CARGA MUERTA

$$\text{Peso de concreto} = 0,095 * 1,00 * 1,00 * 2400 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso de concreto} = 228 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso de steel panel} = 3,45 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso enlucido} = 50 \text{ kg/m}^2$$

Peso de estructura metalica = 50 kg/m²

Carga muerto

*= Peso concreto + Peso steel panel + Peso enlucido
+ Peso estructura*

Carga muerto = 228 + 3,45 + 50 + 50 = 331,45 kg/m²

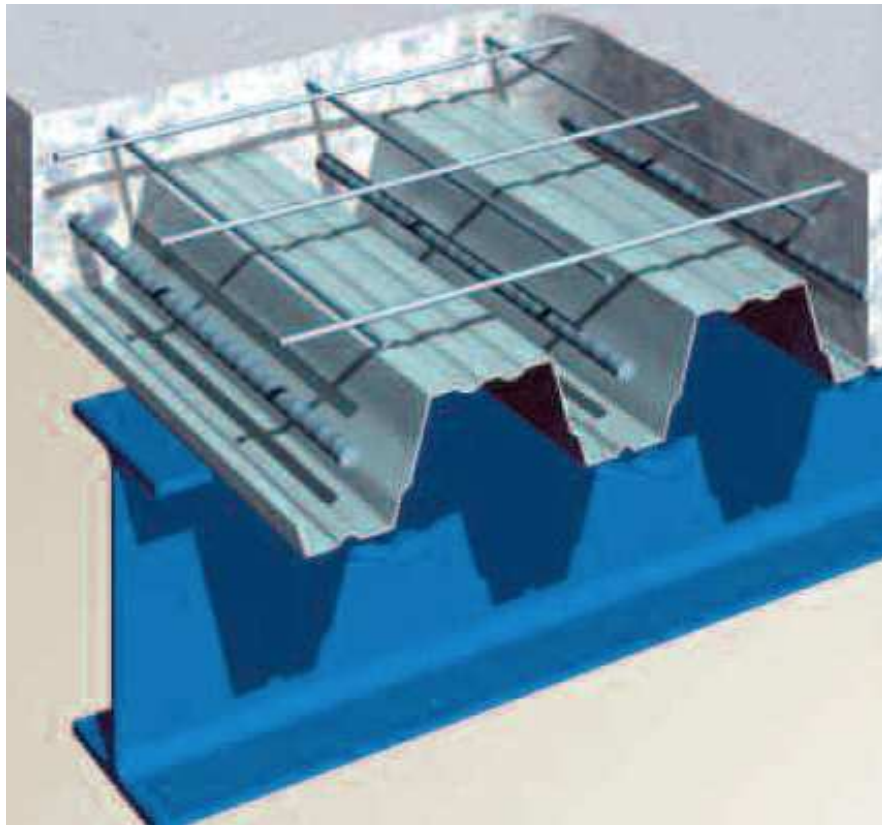


Figura 25: Sección transversal de losa

(Fuente: TATA STEEL, 2016)

7.2.2 CARGA VIVA

Para la carga viva se revisó la Norma Ecuatoriana (NEC), donde los pisos de estacionamientos o partes de los edificios utilizados para almacenamiento

de vehículos, serán diseñados para las cargas vivas uniformemente distribuidas de la Tabla 9 o para las siguientes cargas concentradas:

- “Para vehículos particulares (hasta 9 pasajeros) actuando en una superficie de 100 **mm** por 100 **mm**, 13.4 **kN**;” (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

- “Para losas en contacto con el suelo que son utilizadas para el almacenamiento de vehículos particulares, 10 **kN** por rueda.

Los estacionamientos para camiones y buses serán diseñados por algún método recomendado por AASHTO, MTOP, que contenga las especificaciones para cargas de camiones y buses.” (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

La tabla 9 recomienda para parqueaderos de autos livianos una carga viva de 2 kN, que equivale a 203,94 kgf. La carga concentrada que recomienda la Norma Ecuatoriana de la Construcción es considerablemente baja.

Se tomó como carga viva 500 kg/m^2 para el estudio del pórtico del parqueadero.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Estadios y coliseos		
Graderios	4.80 ^d	
Asientos fijos	3.00 ^f	
<p>^g Adicional a las cargas vivas verticales, el diseño incluirá fuerzas horizontales aplicadas a cada fila de asientos, como sigue:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 400 N/m en dirección paralela, • 150 N/m en dirección perpendicular. <p>Estas fuerzas no serán consideradas en forma simultánea.</p>		
Fábricas/Industria/Manufactura		
Livianas	8.00	9.0
Pesadas	12.00	13.40
Garaje (únicamente vehículos para pasajeros)	2.0 ^{ad}	
Camiones y buses	a,b	
<p>^a Los pisos de estacionamientos o partes de los edificios utilizados para almacenamiento de vehículos, serán diseñados para las cargas vivas uniformemente distribuidas de esta tabla o para las siguientes cargas concentradas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para vehículos particulares (hasta 9 pasajeros) actuando en una superficie de 100 mm por 100 mm, 13.4 kN; y • Para losas en contacto con el suelo que son utilizadas para el almacenamiento de vehículos particulares, 10 kN por rueda. <p>^b Los estacionamientos para camiones y buses serán diseñados por algún método recomendado por AASHTO, MTOP, que contenga las especificaciones para cargas de camiones y buses.</p>		
Gimnasios	4.80	
Graderios para estadios y similares	4.80 ^d	
^d véase Estadios y coliseos		

Figura 26: Carga viva según NEC
(Fuente: Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

7.2.3 ÁREAS TRIBUTARIA

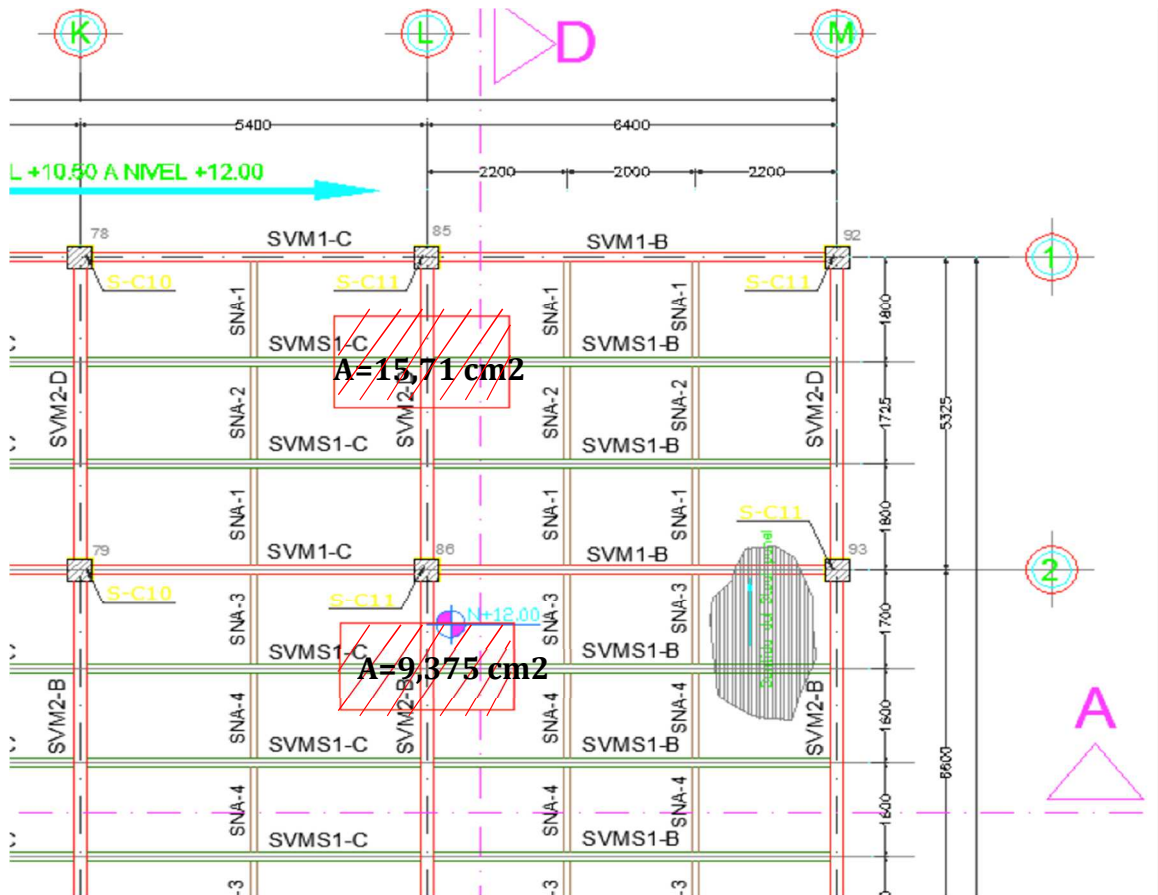


Figura 27: Ancho de Influencia para cálculo de cargas

(Fuente: Procel, 2015)

Para tener las cargas puntuales que actúan sobre las vigas principales el área tributaria se la multiplica por la carga muerta y viva respectivamente y se obtiene los siguientes valores:

Cargas viva para pisos 1 al 4

$$Carga\ viva = 15,71\ m^2 * 500\ \frac{kg}{m^2}$$

$$Carga\ viva = 7,85\ ton$$

$$Carga\ viva = 9,375\ c^2 * 500\ kg/m^2$$

$$Carga\ viva = 4,68\ ton$$

Cargas viva para cubierta

$$Carga\ viva = 1,04\ kg$$

$$Carga\ viva = 0,97\ kg$$

Cargas muerta para pisos 1 al 5

$$Carga\ muerta = 15,71\ m^2 * 331,45\ kg/m^2$$

$$Carga\ muerta = 5,21\ ton$$

$$Carga\ muerta = 9,375\ m^2 * 331,45\ kg/m^2$$

$$Carga\ muerta = 3,11\ ton$$

7.3 MÓDELO DE PÓRTICO EN SAP2000

Una vez calculadas las cargas, se creó un pórtico en SAP2000, para analizar los esfuerzos por carga de muerta, carga viva, y por la combinación de 1,2 D + 1,6 L.

El propósito de este análisis es comprobar si en la combinación 1,2 D + 1,6 L se pueden incluir los cambios de temperatura ambiental. Para ello se debe encontrar el mayor esfuerzo por carga muerta, carga viva y calcular un esfuerzo remanente, que equivale al esfuerzo de fluencia menos los esfuerzos por carga muerta y viva.

$$\sigma_{remanente} = f_y - \sigma_{maxD} - \sigma_{maxL}$$

Determinar el esfuerzo remanente más perjudicial en los elementos estructurales y comprobar por medio de un coeficiente β , que será calculado por las siguientes ecuaciones:

Asumiendo que el cambio de temperatura ambiental es de 24°C.

$$\epsilon = \alpha_T \Delta T$$

$$\sigma_T = \epsilon * E_s$$

Se obtendrá un esfuerzo por temperatura, donde el coeficiente β será la división entre el esfuerzo remanente y esfuerzo por temperatura. Se conceptúa una combinación de carga:

$$1,00D + 1,00L + \beta * \Delta T$$

Se demuestra que dentro de la combinación 1,2D + 1,6L, se pueden considerar incluidos los cambios de temperatura ambiental., siempre que se considere que los factores de mayoración de las cargas muerta y viva son menores a los considerados para la combinación de dichas cargas sin presencia de una tercera

7.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El edificio “PARQUEADERO DE LA JUDICATURA” está ubicado en la ciudad de Guayaquil,



Figura 28: Vista Frontal del Parqueadero de la Judicatura
(Fuente: Procel, 2015)

El edificio consiste en una estructura de acero de 5 niveles, incluida la cubierta. La altura entre pisos es de 3,25 metros, a excepción de la altura del primer piso que es de 4.25 m.

La estructura está formada por 12 pórticos de acero orientados en la dirección “X” y 6 pórticos orientados en el sentido “Y”. La planta del edificio en sentido “X” posee 12 luces de 6.4 m de longitud cada una,

mientras que en el sentido “Y” las luces de los extremos y las luces internas son de 5,325 m y las dos restantes de 6,6cm.

Los pórticos están formados por vigas que se fabricaron a partir de planchas soldadas, formando secciones I mientras que las columnas son secciones tubulares rectangulares. Los elementos metálicos fueron fabricados a partir de planchas soldadas de acero ASTM A572 Grado 50. El tipo de conexiones usadas son de tipo empernado.

El sistema de piso consiste en un tablero compuesto de losa de hormigón fundido sobre planchas galvanizadas de acero (Steel panel), las que se apoyan en vigas secundarias. Cada tramo posee 3 vigas secundarias de perfil W separadas cada 1,7 m en los vanos más cortos y cada 1,8 m en los vanos más largos, ubicadas a lo largo del eje “X”.

7.3.2 MODELO ESTRUCTURAL

Se desarrolló un modelo estructural en el software SAP2000, para poder determinar los esfuerzos máximos, deformaciones verticales y laterales.

Se asumió lo siguiente:

- Para el diseño de los diferentes elementos de la estructura se utilizó el Código AISC 360-10 y no se considera el diseño sismo-resistente porque se descarta la posibilidad de que ocurrieran simultáneamente un terremoto y un incendio.
- Todas las conexiones transmiten momentos.
- Los extremos inferiores de las columnas se consideraron empotrados.
- Se consideraron las vigas secundarias como vigas simplemente apoyadas sobre las vigas principales.

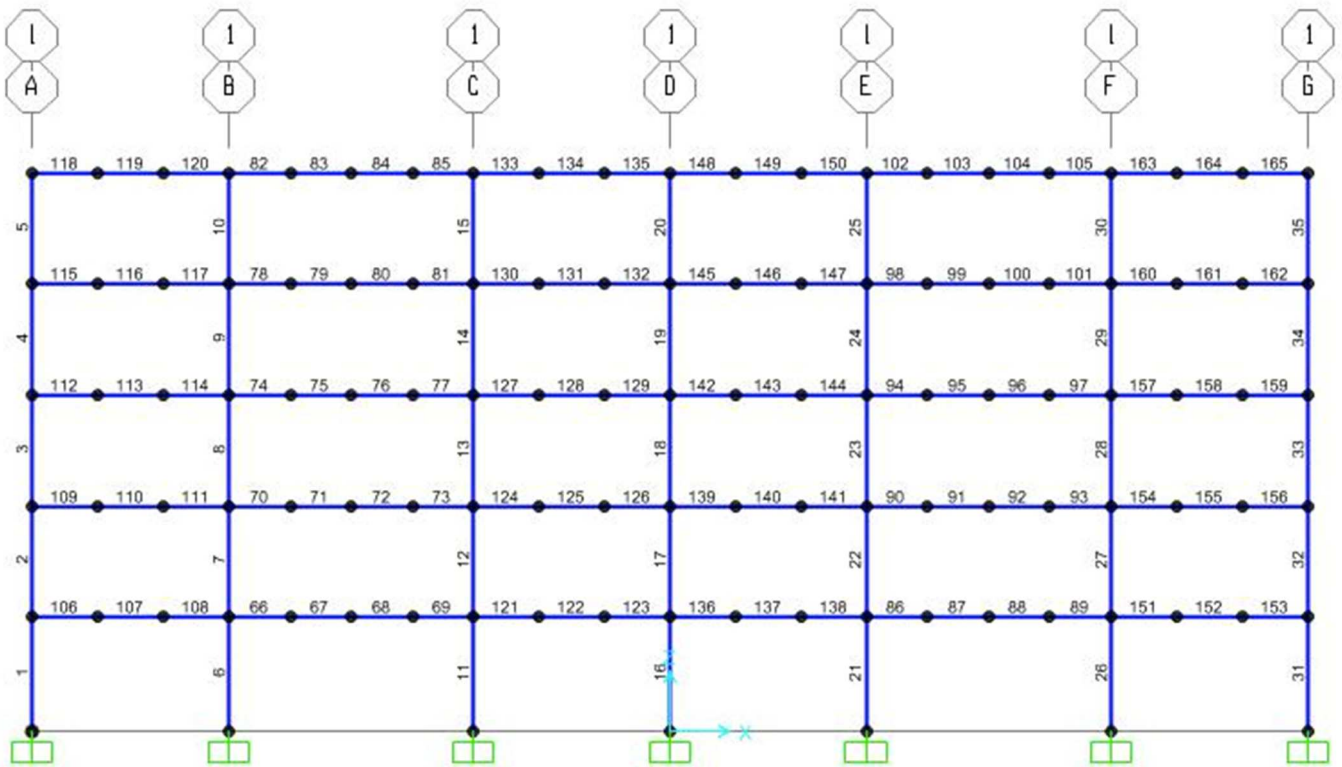


Figura 29: Pórtico Parquero Judicatura

(Fuente: Procel, 2015)

7.3.2.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Se definieron los materiales de construcción en el programa SAP2000. Para las columnas compuestas se consideró un hormigón de 4000 Psi, que corresponde a 280 kg/cm^2 . Además, se consideró el perfil tubular rectangular de acero. El acero es A572, el mismo que está disponible en varios grados dependiendo del tamaño del perfil y grueso de la placa, que en este caso es de grado 50. Tiene un esfuerzo de fluencia de $F_y = 345 \text{ MPa}$ o 50 ksi ($3\ 515 \text{ kg/cm}^2$) y esfuerzo último $F_u = 450 \text{ MPa}$ o 65 ksi ($4\ 570 \text{ kg/cm}^2$).

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: 4000Psi

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,4028

Mass per Unit Volume: 0,245

Units

Units: Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2534563,6

Poisson: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9,900E-06

Shear Modulus, G: 1056068,2

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, fc: 2812,2785

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Figura 30: Propiedades del hormigón

(Fuente: Procel, 2015)

Las siguientes imágenes muestran los datos ingresados de las propiedades de los materiales en el programa SAP2000. Luego se asignó a los elementos estructurales el material que les corresponde.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A572Fy50 ■

Material Type: Steel

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,849

Mass per Unit Volume: 0,8004

Units

Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 20389019

Poisson: 0,3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 7841930,

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 35153,48

Minimum Tensile Stress, Fu: 45699,53

Effective Yield Stress, Fye: 38668,83

Effective Tensile Stress, Fue: 50269,48

Switch To Advanced Property Display

Figura 31: Propiedades del acero

(Fuente: Procel, 2015)

7.3.2.2 SECCIONES TRANSVERSALES

A las columnas que componen el pórtico solo se les asignó una sección transversal a todas ellas, la cual es 400x400x10 mm. Mientras que las vigas W tienen dos secciones, una de ellas es de 350 mm de alto con un ancho de 175 mm, espesor de 6 mm en el alma y un espesor de ala de 12 mm. Estas vigas se las encuentra en el último piso. La otra tiene un alto de 400 mm, un ancho de 200 mm, espesor de 6 mm en el alma y un espesor de 12 mm en el ala. Esta viga se encuentra en el piso 1 hasta el 4 piso.

Características del Perfil Soldado		
dmin=L/20	400	mm
d	400	mm
h	376	mm
bf	200	mm
tf	12	mm
tw	6	mm
As	70,56	cm ²
Ix	20728,91	cm ⁴
Iy	1600,68	cm ⁴
rx	17,14	cm
ry	4,76	cm
Sx	1036,45	cm ³
Sy	160,07	cm ³
Zx	1143,26	cm ³
Zy	243,38	cm ³
x	1,10	F. de Forma

Ws	55,39	kg/m
Wt	55,39	kg/m

Relaciones Ancho-Espesor			
Alas		Alma	
λ_{ps}	7,22	λ_{ps}	59,00
λ_p	9,15	λ_p	90,55
kc	0,51	$\lambda_{r,w}$	137,27
FL	2450		
$\lambda_{r,f}$	19,44		
λ_f	8,33	λ_w	62,67
ESTADO	C	ESTADO	C

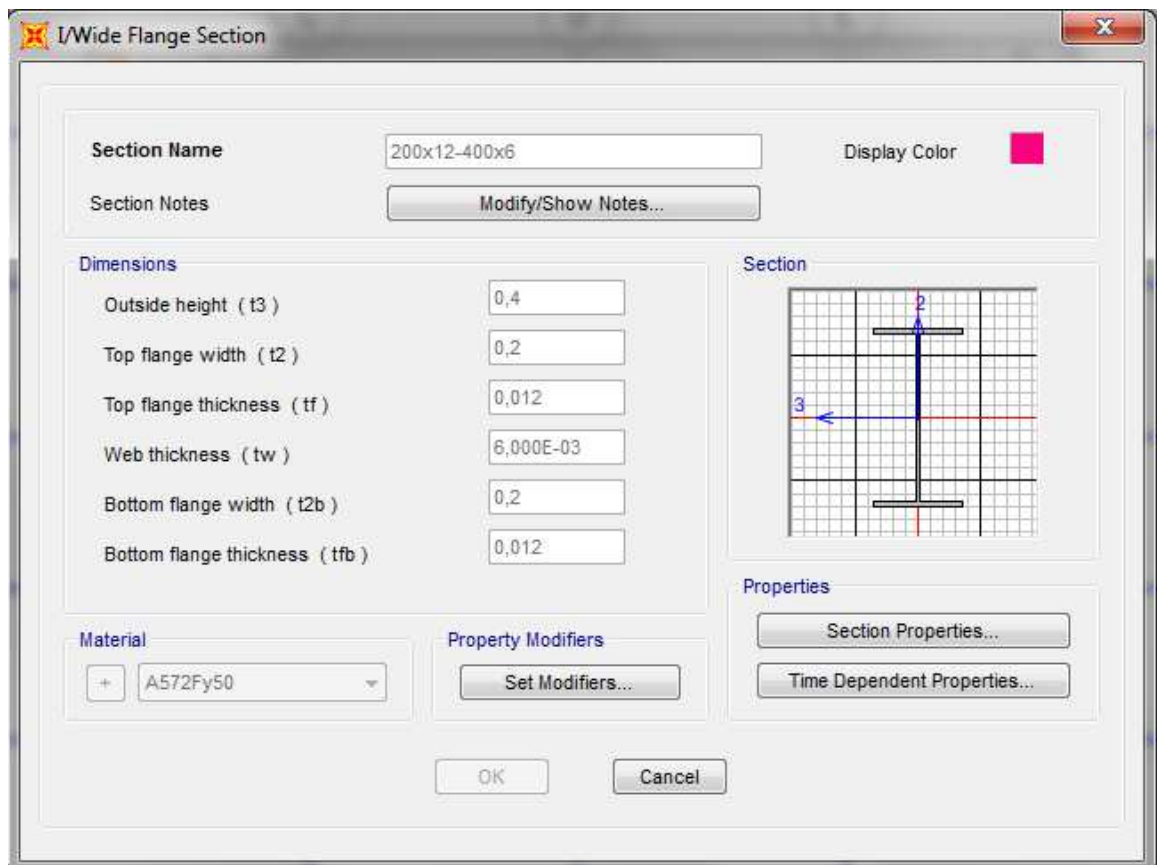


Figura 32: Sección Transversal viga piso 1-4
(Fuente: Procel, 2015)

Características del Perfil Soldado		
dmin=L/20	350	mm
d	350	mm
h	326	mm
bf	175	mm
tf	12	mm
tw	6	mm
As	61,56	cm ²
Ix	13732,96	cm ⁴
Iy	1072,46	cm ⁴
rx	14,94	cm
ry	4,17	cm
Sx	784,74	cm ³
Sy	122,57	cm ³
Zx	869,21	cm ³
Zy	186,68	cm ³
x	1,11	F. de Forma

Ws	48,32	kg/m
Wt	48,32	kg/m

Relaciones Ancho-Espesor			
Alas		Alma	
λ_{ps}	7,22	λ_{ps}	59,00
λ_p	9,15	λ_p	90,55
kc	0,54	$\lambda_{r,w}$	137,27
FL	2450		
$\lambda_{r,f}$	20,14		
λ_f	7,29	λ_w	54,33
ESTADO	C	ESTADO	SC

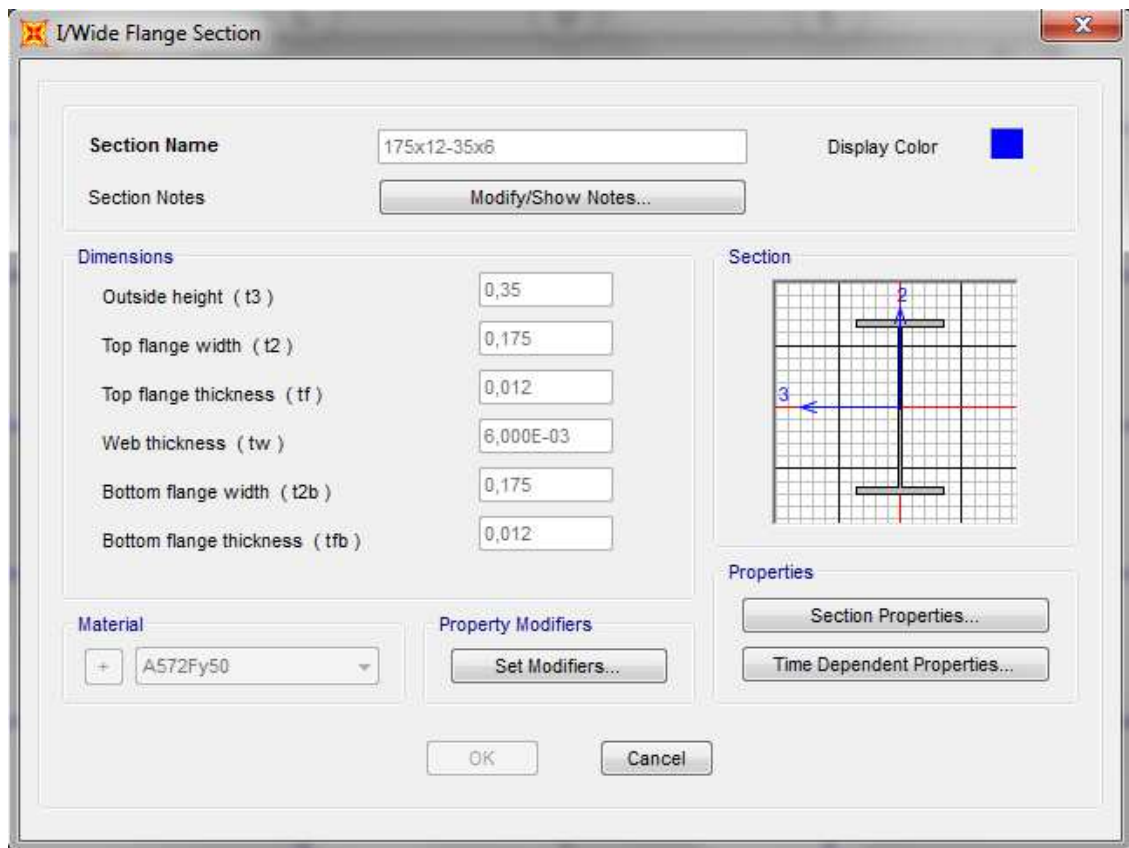


Figura 33: Sección Transversal viga piso 5

(Fuente: Procel, 2015)

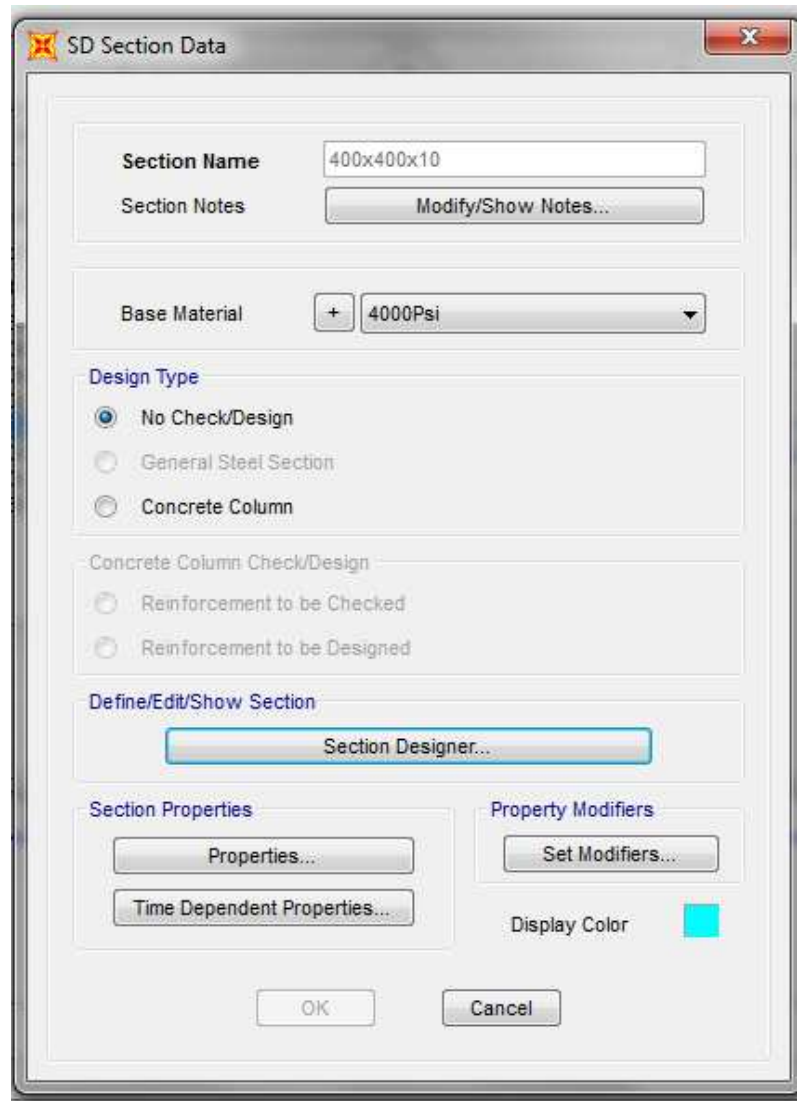


Figura 34: Sección transversal columna

(Fuente: Procel, 2015)

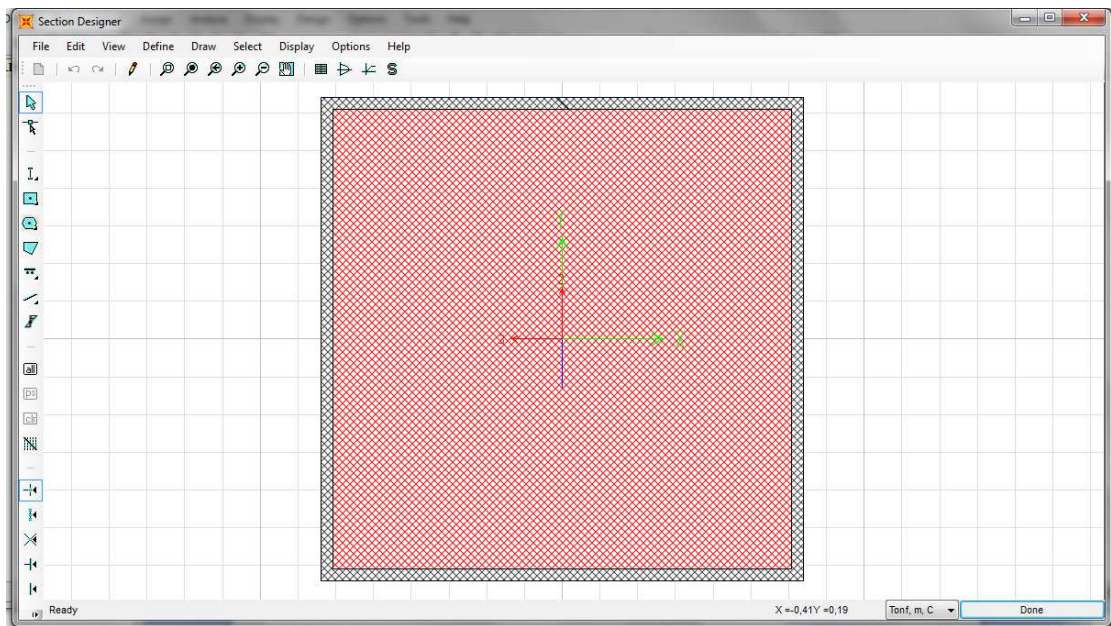


Figura 35: Sección Transversal columna

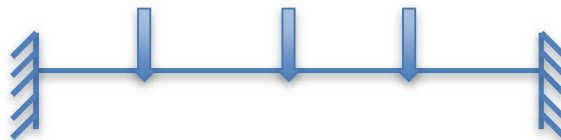
(Fuente: Procel, 2015)

7.3.2.3 CARGAS DE VIGAS EN SAP2000

7.3.2.3.1 VIGAS PRINCIPALES PERPENDICULARES (VPPER)

- Las vigas principales perpendiculares se consideraron empotradas, y reciben la carga de las vigas secundarias, que se consideró como carga puntual.

Por ejemplo en el vano mas largo hay 3 vigas secundarias.



- Las vigas deben ser sísmicamente compactas o compactas.

7.3.2.3.2 VIGAS SECUNDARIAS (VS)

- A las vigas secundarias, se las consideró como vigas simplemente apoyadas.

- La carga última (W_u) por metro cuadrado se calculó mayorando la carga muerta total (W_D) y la carga viva (W_L), sin considerar carga sísmica.
- En una viga simplemente apoyada, el momento máximo es igual a $\frac{qu l^2}{8}$ y se encuentra en el centro de la viga.
- Para obtener la carga distribuida: $q_u = W_u$ s f

Donde:

W_u = carga última

S = ancho de influencia

f = 1.05 toma en cuenta el peso propio de la viga cuando se calcula la carga muerta.

Se ingresaron a distancias equidistantes las cargas vivas, como las cargas muertas, tal como se muestra en las figuras siguientes:

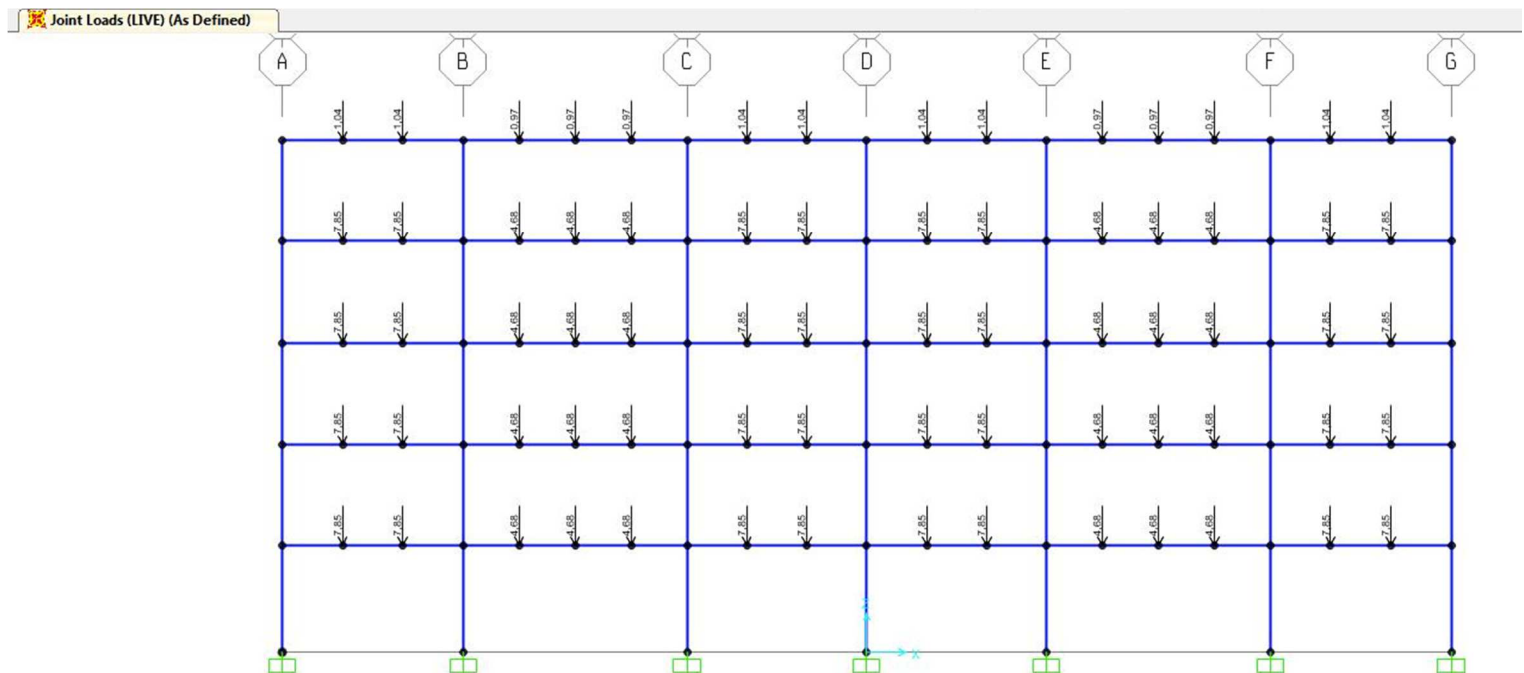


Figura 36: Distribución carga viva
(Fuente: Procel, 2015)

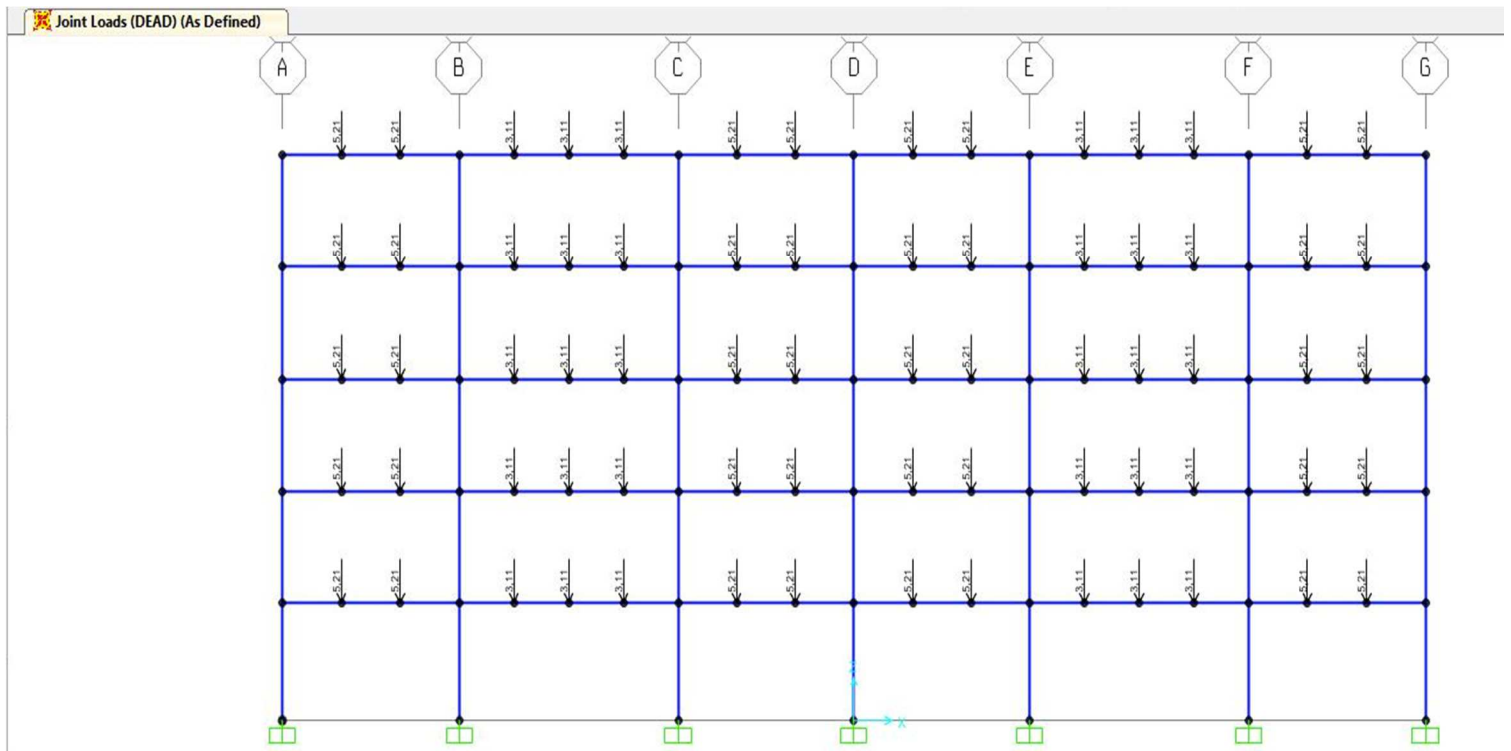


Figura 37: Distribución carga muerta

(Fuente: Procel, 2015)

7.3.2.4 ESFUERZOS MAXIMOS

Para encontrar los esfuerzos que actúan sobre los elementos se consideró la combinación $1,2 D + 1,6 L$, además se adicióno $1,00 D$ y $1,00 L$. Una vez que se corrió el programa, estos son los esfuerzos que se obtuvieron.

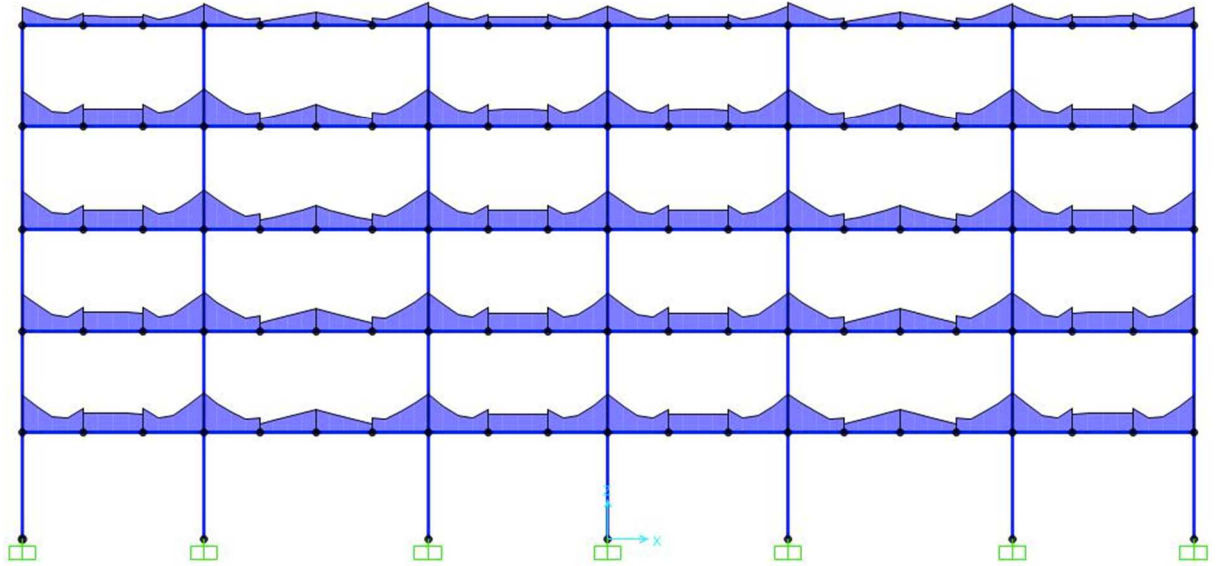


Figura 38: Esfuerzo por Combinación de carga
(Fuente: Procel, 2015)

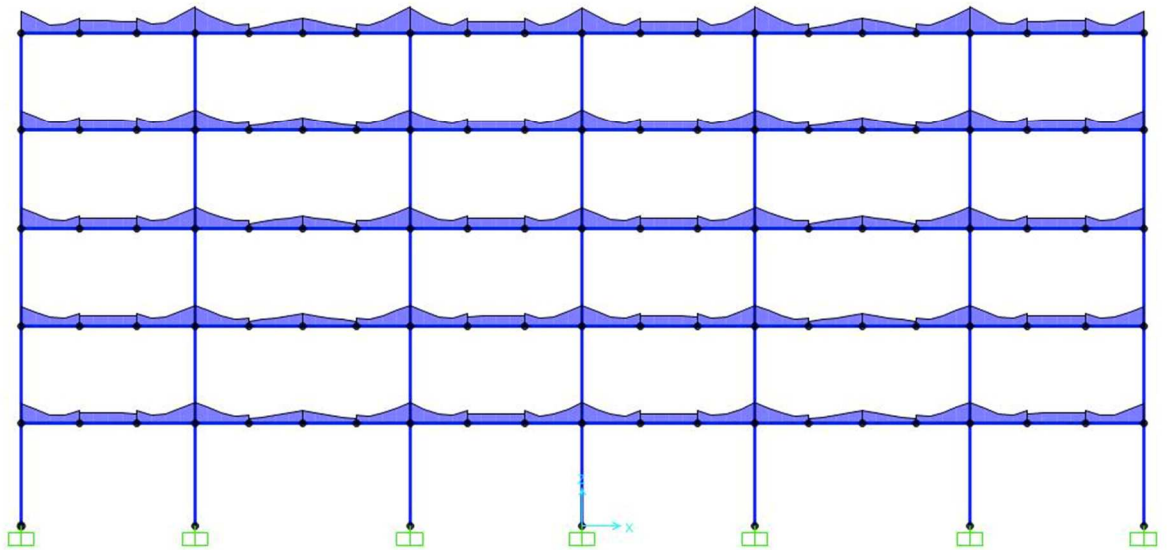


Figura 39: Esfuerzo por carga muerta
(Fuente: Procel, 2015)

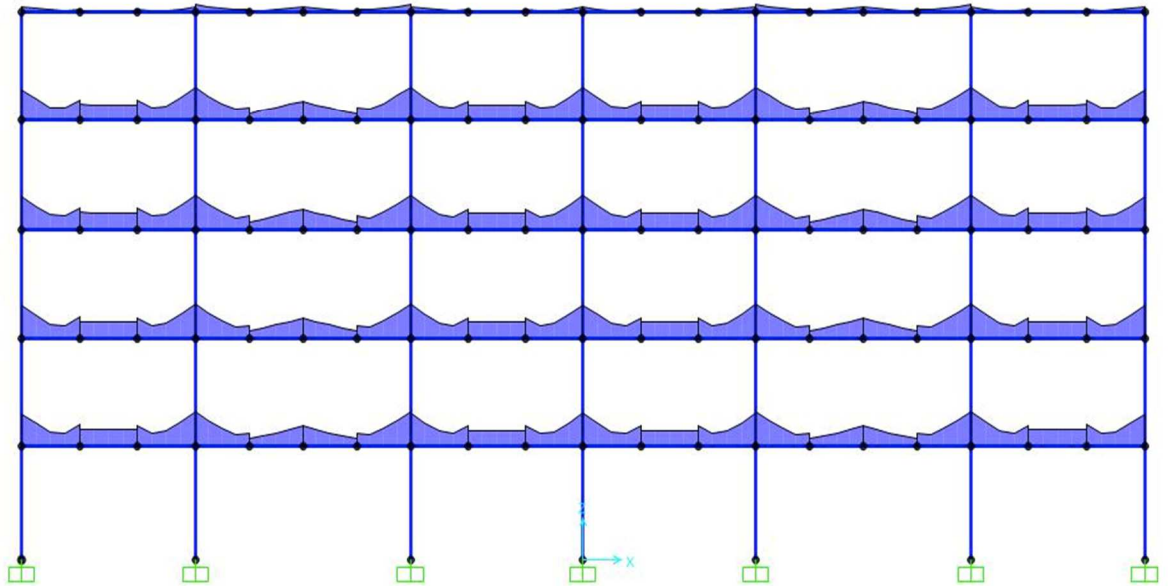


Figura 40: Esfuerzo por carga viva
(Fuente: Procel, 2015)

Si se hace una observación general, notamos que los esfuerzos en las columnas son considerablemente bajos por la siguiente razón:

La inercia de la columna es:

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I = 213333,33 \text{ cm}^4$$

La inercia de la viga se la calculó anteriormente y es:

$$I = 20728,9 \text{ cm}^4$$

Donde el momento de fluencia o máximo momento elástico es:

$$M = \frac{\sigma * I}{y}$$

$$M = \frac{3500 * 213333,33}{20} = 37333333,3 \text{ kg} - \text{cm} = 373,33 \text{ T} - \text{m}$$

$$M = \frac{3500 * 20728,9}{20} = 3627557,5 \text{ kg} - \text{cm} = 36,275 \text{ T} - \text{m}$$

Después del análisis observamos que la columna es 10 veces más rígida que la viga. Por eso, la columna tiene esfuerzos considerablemente bajos con respecto a las vigas.

Para el cálculo de los esfuerzos, se encontraron todos los esfuerzos máximos para los tres casos mencionados, y se calculó los esfuerzos remanentes. Obtenidos los datos de los esfuerzo se creó una tabla, donde se ingresó el esfuerzo máximo por carga viva, carga muerta y por la combinación de ambas cargas mayoradas de todas las vigas. Una vez calculado es esfuerzo remanente, se obtuvo el esfuerzo, disponible para resistir elásticamente el cambio de temperatura ambiental.

$$\epsilon = \alpha_T \Delta T$$

$$\epsilon = 6,5 \times 10^{-6} * 24 = 0,000318$$

$$\sigma_T = \epsilon * E_s$$

$$\sigma_T = 0,000318 * 2100000 = 668,267 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = \frac{\text{esfuerzo remanente}}{\text{esfuerzo temperatura}} = \frac{1883,9}{668,27}$$

$$\beta = 2,81$$

Elemento	Esfuerzo máx. L	Esfuerzo máx. D	Esfuerzo máx. Comb.	Esfuerzo fluencia	Remanente
2	952,49	652,8	2307,34	3500	1894,71
3	949,17	653,97	2301,97	3500	1896,86
4	939,32	659,08	2293,81	3500	1901,6
5	224,25	813,43	1334,92	3500	2462,32
6	958,09	656,98	2321,31	3500	1884,93
7	952,49	652,8	2307,34	3500	1894,71
8	949,17	653,97	2301,97	3500	1896,86
9	939,32	659,08	2293,81	3500	1901,6
10	224,25	813,43	1334,92	3500	2462,32
11	963,21	652,89	2324,6	3500	1883,9
12	947,78	640,08	2284,53	3500	1912,14
13	947,65	633,99	2277,01	3500	1918,36
14	934,38	652,6	2278,09	3500	1913,02
15	143,38	817,29	1190,11	3500	2539,33
16	940,67	638,6	2271,39	3500	1920,73
17	936,65	637,24	2263,33	3500	1926,11
18	930,27	638,56	2254,71	3500	1931,17
19	915,1	629,3	2219,32	3500	1955,6
20	141,36	774,31	1153,36	3500	2584,33
21	940,67	638,6	2271,39	3500	1920,73
22	936,65	637,24	2263,33	3500	1926,11
23	930,27	638,56	2254,71	3500	1931,17
24	915,1	629,3	2219,32	3500	1955,6
25	141,36	774,31	1153,36	3500	2584,33
26	963,21	652,89	2324,6	3500	1883,9
27	947,78	640,08	2284,53	3500	1912,14
28	947,65	633,99	2277,01	3500	1918,36

29	934,38	652,6	2278,09	3500	1913,02
30	143,38	817,29	1190,11	3500	2539,33

El menor esfuerzo remanente es 1883,9 kg/cm²

El coeficiente β esta dado por;

$$\beta = \frac{\text{esfuerzo remanente}}{\text{esfuerzo temperatura}} = \frac{1883,9}{668,27}$$

$$\beta = 2,81$$

Se concluye que en nuestro país, refiriéndonos a todas las regiones, la combinación de carga con la que se diseña las estructuras indirectamente si toma en consideración los cambios de temperatura ambiental. Si sumamos los coeficientes que mayoran la carga viva y muerta tenemos un valor de 2,8. El factor β resulto muy cercano, entonces esto quiere decir:

$$1,2 D + 1,6 L = 1,00 D + 1,00 L + 2,81 \Delta T \quad OK$$

CAPÍTULO 8: SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

Cuando hablamos sobre las consecuencias de un incendio, una pregunta surge ante esto: ¿habrá algún medio de protección que pueda eliminar las llamas? La respuesta es que probablemente nunca pueda eliminarse el incendio, pero si reducirlo y controlarlo notablemente, mediante acciones adecuadas de protección pasiva y activa.

Todos los países están conscientes del grave problema de los incendios y han legislado normas de obligado cumplimiento, para aumentar la protección de los edificios. La Norma española NBE-CPI-96 contempla los aspectos de protección pasiva y activa de los edificios o establecimientos.

8.1. MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVA

La protección activa tiene por objeto extinguir los incendios. Son acciones instaladas en el edificio. Permiten reducir la velocidad de propagación de las llamas. De este modo se facilita la evacuación ordenada de los ocupantes y minimizar los efectos de un incendio, evitando daños y pérdidas producidos por el fuego. Los agentes de extinción son eficaces, rápidos, seguros y amigables con el medio ambiente, la mayoría de estos agentes son agua y agua nebulizada. Además, una de sus ventajas es que no necesitan ocupar grandes espacios en los establecimientos donde se los encuentra. A continuación se nombran las medidas de protección activa más relevantes.

8.1.1 Detectores automáticos:

La detección de incendios tiene como finalidad descubrir y avisar que hay fuego en un lugar determinado. Los detectores pueden ser manuales o automáticos. Detectan el fuego a través de humos, temperatura o radiaciones ultravioletas, eso dependerá de las materias que contenga el edificio. Mientras que en los detectores manuales la rapidez de detección es baja porque lo realizan las personas al momento de ver llamas. Cualquiera

puede pulsar y timbrar si ve un intento de incendio.

8.1.2 Alerta y señalización:

La alarma comunica de forma instantánea a los ocupantes la aparición de un incendio mediante la emisión de señales acústica. Es necesario que todas las personas reciban la señal, permitiendo de esta forma el conocimiento de la existencia de un incendio. Además están instaladas señales visuales, que nos indican hacia dónde dirigirnos. Letreros en color verde luminoso señalan las vías de evacuación. También debe haber un sistema de iluminación de emergencia. Si existe un fallo de alumbrado general, este se activa automáticamente, de modo que permita llegar de forma fácil y segura a los ocupantes del edificio hasta el exterior. Este alumbrado debe señalar de forma permanente las puertas, pasillos y salidas durante todo el tiempo que permanezcan los ocupantes.

Los sistemas automáticos de alerta se encargan también de avisar, por medios electrónicos, a los bomberos. En caso contrario debe encargarse una persona por teléfono.

8.1.3 Extinción:

Mediante agentes extintores, tales como agua o espuma, contenidos en extintores o conducidos por tubería que los lleva hasta unos dispositivos, como rociadores, bocas de incendio. Estos pueden funcionar automáticamente o manualmente, están distribuidos en una red de agua y además tienen fuentes de abastecimiento.

En el caso de los sistemas móviles tenemos a los extintores que pueden ser proyectados y dirigidos sobre el fuego. Estos ejercen una presión interna con el fin de apagarlo y necesitan la intervención humana.

Los sistemas fijos de extinción tienen como finalidad el control y la extinción de un incendio mediante la descarga automática en el área protegida de un producto extintor, sin intervención humana.

Los más frecuentados son los rociadores de agua, conocidos también como sprinklers. Según estudios del National Institute of Standards and Technology en uno de sus departamentos, la Fire Research Division, se realizaron complejos estudios en el campo del fuego y de los incendios en estructuras. Sus investigaciones son sobre la evolución del fuego con elementos de extinción tipo sprinkler.

A continuación se muestran dos Habitaciones, la habitación A y la B. En las dos habitaciones se va a provocar un incendio. Es importante que ambas habitaciones tengan las mismas propiedades, es decir tenga la misma carga de fuego, material combustible, comburente. Lo único que las diferencia es que en la habitación A no tiene instalado sprinkler, mientras que la habitación B si cuenta con este sistema de protección.

Habitación A



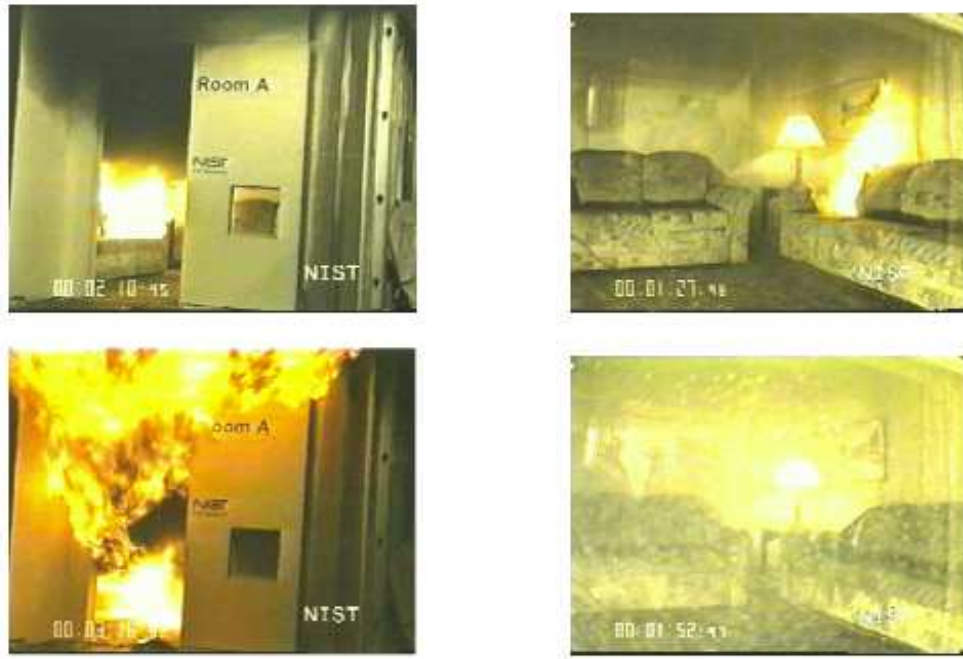
Habitación B



Figura 41: Evolución de un incendio con y sin sprinkler

(Fuente: Grau, Saladrigas & Arrizabalaga, 2007)

En los primeros 30 minutos observamos que las dos habitaciones se encuentran en las mismas condiciones, tienen la misma carga de fuego. Luego de haber transcurrido 1 hora desde el inicio del incendio, la diferencia entre las dos habitaciones no difiere es mucha. A las dos horas podemos notar un cambio entre las dos habitaciones, ambas quieren entrar a la fase de transición de la fase II a la fase III (Flashover), donde el material combustible se está consumiendo. Por último, en las imágenes finales notamos que el cuarto A llegó a la máxima liberación de energía, es decir Flashover, mientras que la habitación B, por tener la medida de protección activa logró que el incendio no incurriera a la Fase III, dando más tiempo de evacuación y para poder controlar y apagar el incendio.



Figs III.4.1a, III.4.1b. Distinta evolución de un incendio en habitaciones idénticas que carecen (A) o tienen (B) medidas de extinción automática (<http://www.fire.nist.gov/>)

Figura 42: Evolución de un incendio con y sin sprinkler

(Fuente: Grau, Saladrigas & Arrizabalaga, 2007)

La utilidad que tienen las medidas de detección y extinción rápida, es que los incendios solamente pueden abortarse durante los minutos previos a la fase de Flashover. Una vez iniciada dicha fase, la única opción viable es esperar a la fase de decaimiento para acelerar el proceso de extinción. Pero no nos podemos fiar de estas protecciones contra incendios porque necesitan constante mantenimientos y puede que exista algún fallo eléctrico y no logre cumplir su función.

8.2 MEDIDAS DE PROTECCIÓN PASIVA

8.2.1 PINTURAS INTUMESCENTES

“La intumescencia consiste en un conjunto de reacciones químicas capaces de provocar un importante incremento del espesor del material, de manera que en caso de incendio desarrolla un importante volumen de espuma carbonosa aislante, como una pintura que se expande y que aumenta su espesor, hasta 80 o 100 veces, cuando se eleva la temperatura.” (Humberto, López, Lacasta & Haurie, 2014)



Figura 43: Protección mediante pinturas intumescentes

(Fuente: Galbarro, 2008)

De todos los sistemas de protección existentes, este ofrece una solución más estética, debido a que no sufren modificaciones la geometría ni las dimensiones de los elementos.

Las pinturas intumescentes presentan un problema cuando las estructuras se encuentran sometidas por más de 50 minutos al fuego, éstas pierden su estabilidad. Además controlar su aplicación no es muy sencillo. Solo se emplea hasta una masividad de 390m^{-1} y tiene una durabilidad reducida de

aproximadamente 5 años. Las pinturas intumescentes se encuentran en un rango entre **F15 y F90**, es decir los elementos resisten alrededor de 15 hasta 90 minutos por la aplicación de la pintura.

El recubrimiento de los perfiles o elementos se lo calcula de la siguiente manera. Primero se debe calcular el factor de forma o masividad de los elementos.

“Cualquier cuerpo metálico expuesto al fuego, se calentará más rápidamente cuanta mayor superficie este en contacto con él. A su vez, con la misma superficie expuesta, tardará más en calentarse cuanta mayor masa tenga este cuerpo. El factor que determina el incremento de la temperatura en una sección constante de acero, se denomina masividad.” (SAINT.GOBAIN, 2010). La masividad es la relación entre el perímetro del perfil que se está calentando y su sección. Por lo tanto, cuanto mayor sea la masividad, más rápidamente se alcanzara el colapso de la estructura por calentamiento.

$$Masividad = \frac{Perimetro}{Area} = \frac{m}{m^2}$$

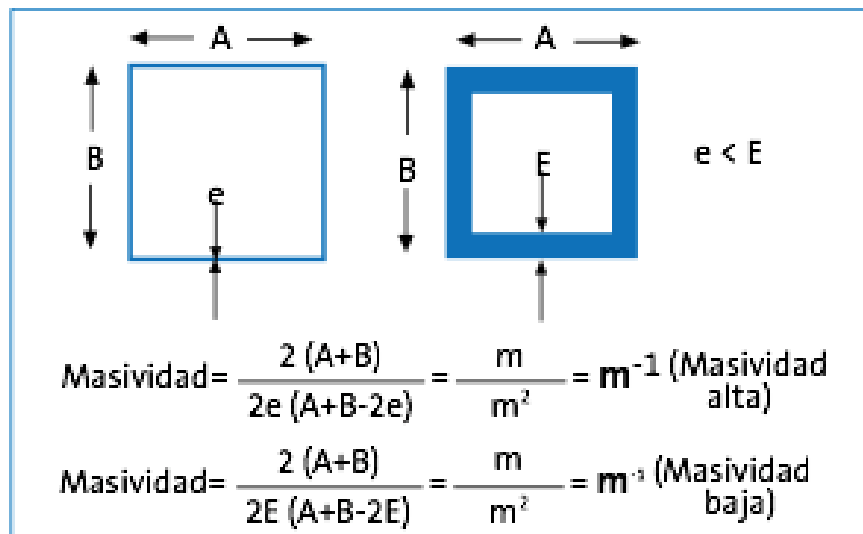


Figura 44: Cálculo del factor de forma o Masividad

(Fuente: Pannoni, 2008)

Entonces inferimos que entre mayor sea el factor de forma o masividad, más rápido se consumirá el perfil de acero. Mientras menor sea la masividad los elementos estructurales resistirán más el fuego.

Masividad	Factor de Retardo/Espesor				Masividad	Factor de Retardo/Espesor			
	F-15	F-30	F-60	F-90		F-15	F-30	F-60	F-90
60m-1	400	400	700	1300	230m-1	400	600	1400	NO APLICA
70m-1	400	400	750	1400	240m-1	400	600	1450	NO APLICA
80m-1	400	400	800	1450	250m-1	400	650	1500	NO APLICA
90m-1	400	400	850	1550	260m-1	400	650	1500	NO APLICA
100m-1	400	400	850	1650	270m-1	400	650	1550	NO APLICA
110m-1	400	400	900	1700	280m-1	400	700	1600	NO APLICA
120m-1	400	400	950	1800	290m-1	400	700	1650	NO APLICA
130m-1	400	400	1000	NO APLICA	300m-1	400	700	1650	NO APLICA
140m-1	400	400	1050	NO APLICA	310m-1	400	700	1700	NO APLICA
150m-1	400	450	1100	NO APLICA	320m-1	400	750	1750	NO APLICA
160m-1	400	450	1100	NO APLICA	330m-1	400	750	1800	NO APLICA
170m-1	400	500	1150	NO APLICA	340m-1	400	750	1800	NO APLICA
180m-1	400	500	1200	NO APLICA	350m-1	400	750	NO APLICA	NO APLICA
190m-1	400	500	1250	NO APLICA	360m-1	400	800	NO APLICA	NO APLICA
200m-1	400	550	1300	NO APLICA	370m-1	450	800	NO APLICA	NO APLICA
210m-1	400	550	1300	NO APLICA	380m-1	450	800	NO APLICA	NO APLICA
220m-1	400	550	1350	NO APLICA	390m-1	450	800	NO APLICA	NO APLICA

Figura 45: Tabla de recubrimiento de pinturas intumescentes

(Fuente: CODELPA, 2010)

En la siguiente figura, la primera columna nos muestra la masividad que un elemento pueda tener. En la fila verde se muestran los distintos tiempos que puede la estructura resistir el fuego desde 15 minutos hasta 90 minutos. Las columnas que se encuentran al interior dan el espesor que se recomienda utilizar en micras.

8.2.2 MORTEROS PROYECTABLES

Estos morteros son proyectables, compuestos por ligantes hidráulicos, áridos ligeros del tipo de vermiculita o lana mineral, y aditivos especiales, que contiene agua en el interior de su molécula, que debidamente triturada y después de un proceso de expansión (aumenta 20 veces su medida) a una

temperatura de 1.200 °C sigue conservando todas las propiedades iniciales del mineral; no es tóxica, es incombustible y es muy ligera. (GRUPO SABINE, 2014)

Permiten una estabilidad al fuego llegando hasta cuatro horas de exposición al calor de las llamas. Es incombustible en clasificación de reacción al fuego A1.

A1: No Combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego

A2: No Combustible. Sin contribución en grado menor al fuego

B: Combustible. Contribución muy limitada al fuego

C: Combustible. Contribución limitada al fuego

D: Combustible. Contribución media al fuego

E: Combustible. Contribución alta al fuego

En la siguiente figura se muestra la aplicación del mortero proyectado, con mortero de perlita o vermiculita y mortero de lana de roca. Notamos que la superficie queda rugosa pero puede tratarse para que sea lisa y tenga un aspecto más estético a la vista.



**Protección con Mortero
de perlita o vermiculita**



**Protección con Mortero
de lana de roca**

Figura 46: Protección mediante mortero proyectado

(Fuente: Galbarro, 2010)

Para el cálculo del recubrimiento se debe seguir el mismo procedimiento que el de la pintura intumescente. Primero se calcula la masividad de los elementos para luego determinar el espesor. El espesor del revestimiento se determina según el tiempo de estabilidad al fuego que se considere. El tiempo varía desde 15 minutos hasta 240 minutos (4 horas).

TABLA DE ESPESORES MORTERO PERLIFOC SEGÚN MASIVIDAD (VIGAS Y PILARES)

Tabla válida para 500°C de temperatura en el acero. s/UNE ENV 13381-4

MASIVIDAD	ESPESOR mm.							
	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.
65	10	10	10	10	13	18	27	37
70	10	10	10	10	14	19	28	38
75	10	10	10	10	14	19	30	40
80	10	10	10	10	15	20	31	41
85	10	10	10	10	15	21	31	42
90	10	10	10	10	16	21	32	43
95	10	10	10	11	16	22	33	44
100	10	10	10	11	17	22	34	45
105	10	10	10	11	17	23	35	46
110	10	10	10	11	17	24	35	47
115	10	10	10	12	18	24	36	48
120	10	10	10	12	18	25	36	49
125	10	10	10	12	18	25	37	49
130	10	10	10	12	19	25	38	50
135	10	10	10	13	19	26	38	51
140	10	10	10	13	19	26	38	51
145	10	10	10	13	19	26	39	52
150	10	10	10	13	20	27	39	52
155	10	10	10	13	20	27	40	53
160	10	10	10	13	20	27	40	54
165	10	10	10	14	20	27	41	54
170	10	10	10	14	21	28	41	54
175	10	10	11	14	21	28	41	55
180	10	10	11	14	21	28	42	55
185	10	10	11	14	21	28	42	56
190	10	10	11	14	21	28	42	56
195	10	10	11	14	21	29	42	56
200	10	10	11	15	22	29	43	57
205	10	10	11	15	22	29	43	57
210	10	10	11	15	22	29	43	58
215	10	10	11	15	22	29	44	58
220	10	10	11	15	22	30	44	58
225	10	10	11	15	22	30	44	58
230	10	10	12	15	22	30	44	59
235	10	10	12	15	23	30	44	59
240	10	10	12	15	23	30	45	59
245	10	10	12	15	23	30	45	60
250	10	10	12	16	23	30	45	60
255	10	10	12	16	23	30	45	60
260	10	10	12	16	23	31	45	60
265	10	10	12	16	23	31	46	61
270	10	10	12	16	23	31	46	61
275	10	10	12	16	23	31	46	61
280	10	10	12	16	23	31	46	61
285	10	10	12	16	24	31	46	61
290	10	10	12	16	24	31	46	62
295	10	10	12	16	24	31	46	62

Figura 47: Tabla de recubrimiento para mortero proyectado

(Fuente: PERLITA Y VERMICULITA, 2013-2014)

8.2.3 PANELES Y PLACAS RÍGIDAS DE REVESTIMIENTO

Esta protección se basa en paneles de silicato cálcico; son livianos y fáciles de manejar, permiten crear alojamientos estancos en su interior donde queda el perfil. El espesor determina el tiempo de estabilidad al calor de las llamas. El tiempo máximo comprobado se encuentra alrededor de las 3 horas de exposición al fuego. Su proyecto es fácil y sencillo, con nulo mantenimiento. (GRUPO SABINE, 2014)

Para determinar el espesor del revestimiento con placas, se debe determinar el tiempo en minutos que se necesita. Determinar si la protección a realizar es a cuatro, tres caras etc. y obtener el correspondiente factor de forma. Adelante se muestran las distintas formas de protección de las caras de los perfiles.

Sección de acero	4 caras	3 caras	3 caras	2 caras	1 cara
Vigas o pilares normalizados A (Hp)					
Vigas en "T" A (Hp)					
Angulares A (Hp)					
Vigas en "U" A (Hp)					
Secc. huecos cuadradas o rectangulares A (Hp)					
Secciones huecos circulares A (Hp)					

Figura 48: Protección de las placas rígidas

(Fuente: Pannoni, 2008)

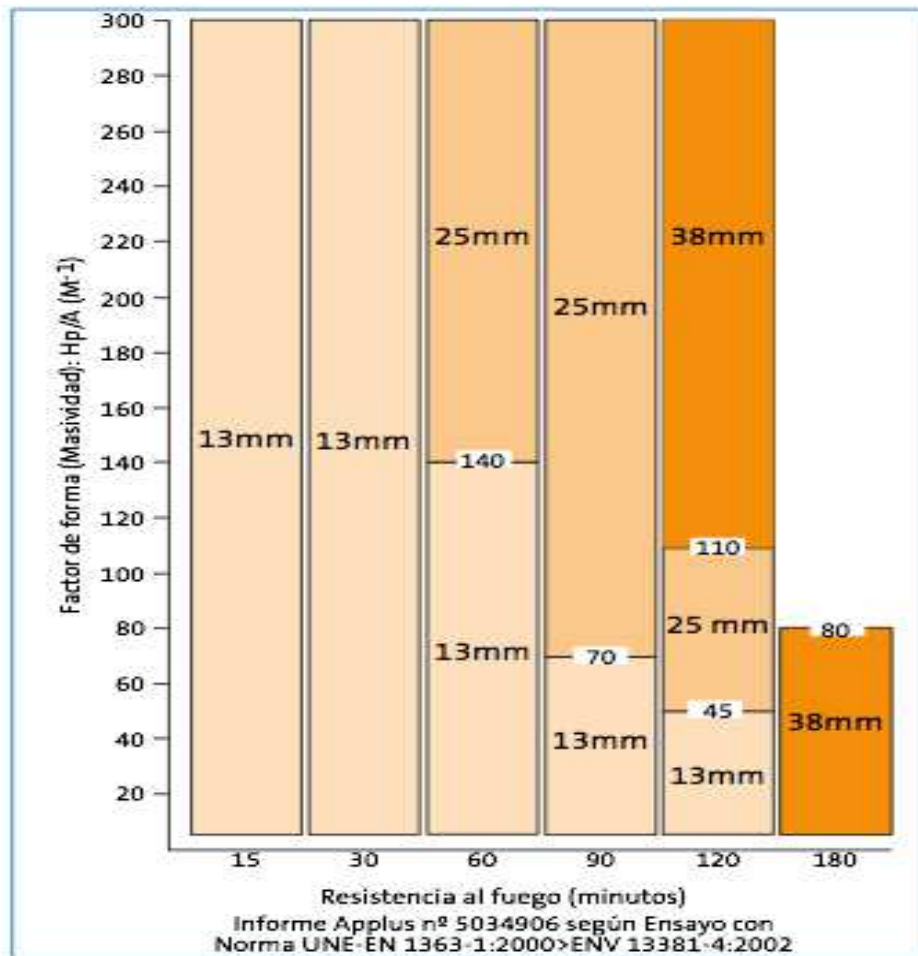


Figura 49: Gráfico de recubrimiento por placas rígidas

(Fuente: CONSTUMATICA, 2015)

Por medio de este gráfico se calcula el recubrimiento de los perfiles. En el eje “x” tenemos el tiempo que pueden resistir los elementos al fuego desde 15 minutos hasta 3 horas. En el eje “y” se encuentra la masividad. Dependiendo de la masividad y el tiempo localizamos el recubrimiento recomendado en milímetros.

8.3 PRECIOS DE LAS PROTECCIONES PASIVAS

8.3.1 MORTERO PROYECTABLE

La marca analizada es conocida como PERLIFOC y sus propiedades son las siguientes:

Densidad: 450-500 kg/m³

Rendimiento: 7 kg/m² por cm de espesor

Saco: 20 kg

Código: 853VP17

Color	Capacidad	Precio €/saco
Blanco	20 kg	18,29
Gris	20 kg	29,12
Gris Oscuro	20 kg	32,08
Teja	20 kg	32,08
Canela	20 kg	32,08
Verde	20 kg	66,24

Figura 50: Precios de saco de mortero proyectable

(Fuente: Promat S.A, 2015)

Color	Precio\$/saco	Precio\$/m ²
Blanco	20,21	7,07
Gris	32,18	11,26
Gris Oscuro	35,45	12,41
Teja	35,45	12,41

Canela	35,45	12,41
Verde	73,21	25,62

8.3.2 PLACAS RIGIDAS

PROMATECT	Código	Espesor mm	Dimensiones mm	Peso kg/m ²	nº placas/palet	kg/ palet	Precio €/ m ²
PROMATECT - H Conductividad térmica: 0,175 W/mK Densidad: Aprox. 870 kg/m ³	851PH10	10	1250 x 2500	9,20	40	1.150	29,64
	851PH12	12	1250 x 2500	11,10	30	1.041	35,70
	851PH15	15	1250 x 2500	13,90	25	1.086	44,72
	851PH20	20	1250 x 2500	18,50	20	1.156	59,51
PROMATECT - 100 Conductividad térmica: 0,27 W/mK Densidad: Aprox. 850 kg/m ³	851P10010	10	1200 x 2500	8,87	40	1.064	21,62
	851P10012	12	1200 x 2500	10,67	30	960	25,94
	851P10015	15	1200 x 2500	12,72	25	954	32,43
	851P10020	20	1200 x 2500	16,93	20	1.016	43,24
	851P10025	25	1200 x 2500	21,33	15	960	54,04
PROMATECT - L500 Conductividad térmica: 0,09 W/mK Densidad: Aprox. 500 kg/m ³	851PL50040	40	1200 x 2500	21,00	20	1.260	94,06
	851PL50050	50	1200 x 2500	26,30	16	1.262	117,57
	851PL50052	52	1200 x 2500	27,40	15	1.233	122,28
	851PL50060	60	1200 x 2500	31,50	10	945	141,09
PROMATECT - LS Conductividad térmica: 0,087 W/mK Densidad: Aprox. 490 kg/m ³	851PLS30	30	1200 x 2500	15,50	30	1.395	59,16
	851PLS35	35	1200 x 2500	18,10	25	1.358	69,02
	851PLS45	45	1200 x 2500	23,30	18	1.258	88,74
	851PLS50	50	1200 x 2500	25,90	16	1.243	98,70

Figura 51: Precio por m2 de placas rígidas

(Fuente: Promat S.A, 2015)

Esesores PROMATECT - H	Precio \$/m2
10	32,76
12	39,46
15	49,42
20	65,77

8.3.3 PINTURAS INTUMESCENTES

NULLIFIRE S707-60 / S707-120

Pintura intumescente al agua, para la protección al fuego de vigas y pilares hasta R120 min. Pintura muy competitiva para resistencias igual o superior a R60 min.

- Consumo: 1,4 l/m²
- Espesor por capa de pintura: 500 micras aprox.
- Bote: 19 litros



Código	Capacidad	Precio €/ bote
NULLIFIRE	19 l	287,70
NULLIFIRE120	19 l	287,70

PROMAT WIP

Pintura intumescente monocomponente en base de agua para la protección al fuego de vigas y pilares RF30 - RF60 minutos.

- CONSUMO: 2,2 Kg/m² por mm de espesor.
- ESPESOR POR CAPA DE PINTURA: 350 - 500 micras.



Código	Capacidad	Precio €/ bote
853WIP	20 kg	242,34

Figura 52: Precio por bote de pintura intumescente

(Fuente: Promat S.A, 2015)

Código	Precio \$/bote	Precio \$/m2
NULLIFIRE	317,97	23,43
NULLIFIRE120	317,97	23,43
853WIP	267,83	29,46

Además como estos productos no se encuentran a nivel nacional, se debe también cotizar la importación de los mismos. Con la ayuda de la consolidadora de carga H.A.CARGO S.A. se hicieron dos propuestas vía área y marítima. Adelante se muestran las proformas con sus distintos costos.



Albatros

Cdla. Albatros, Calle Flamingo 211 entre M.H. Alcívar y calle

Guayaquil, 4 de febrero del 2016

**Señora
Claudette Procel
Guayaquil, Ecuador**

De nuestras consideraciones:

Nos es grato poner a su consideración nuestras tarifas desde FOB Barcelona:

Tarifa aérea 1 a 70 kilos.

Flete aéreo \$ 345.00 All in

71 KG en adelante

FLETE AEREO \$ 1.95 x kg

Gastos de origen

AWB \$ 35.00
SED \$ 35.00
Handling \$ 35.00
Delivery 0.08 x Lb – MIN \$ 50.00

Gastos en destino (sujetos a IVA)

Administración \$ 45.00
T. datos \$ 25.00
Documentación \$ 25.00
5% ISD (aplica a flete + gastos de origen)

Contamos con servicio de pick-up/ inland, previa cotización para sus cargas dentro de los Estados Unidos.

Si tiene alguna consulta o inquietud no dude en contactarnos.

Atentamente

David Álvarez Kronfle





Albatros

Cdla. Albatros, Calle Flamingo 211 entre M.H. Alcívar y calle

**Señora
Claudette Procel
Guayaquil, Ecuador**

De nuestras consideraciones:

Nos es grato poner a su consideración nuestras tarifas desde FOB Barcelona:

Tarifa marítimo 1 a 70 kilos.

Flete marítimo \$ 165.00 All in

71 KG en adelante

Flete marítimo \$ 1.75 x kg

Gastos de origen

AWB \$ 15.00
SED \$ 15.00
Handling \$ 15.00
Delivery 0.08 x Lb – MIN \$ 30.00

Gastos en destino (sujetos a IVA)

Administración \$ 35.00
T. datos \$ 15.00
Documentación \$ 15.00
5% ISD (aplica a flete + gastos de origen)

Contamos con servicio de pick-up/ inland, previa cotización para sus cargas dentro de los Estados Unidos.

Si tiene alguna consulta o inquietud no dude en contactarnos.

Atentamente

David Álvarez Kronfle



CAPÍTULO 9: DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

Existe una norma española que sirve como guía para la buena práctica de la protección contra el fuego. La principal amenaza para el colapso de un edificio en estos casos puede ser producto de los gases y llamas desprendidas de un incendio, donde miles de personas pueden estar en riesgo, por eso es necesario tomar las medidas adecuadas.

9.1 CARGA DE FUEGO

La carga de fuego debido a los elementos almacenados es, según la NBE-CP1/82:

$$Q_s = \frac{\sum G_i * q_i}{A} C_i * R_a \quad \left(\frac{Mcal}{m^2} \right)$$

Q_s = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

G_i = masa en kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector o área de incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles).

q_i = poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

C_i = coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

R_a = coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc. Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el

10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio.

A= superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².

n= número de materiales combustibles

9.1.1 CALOR ESPECÍFICO DEL ACERO (C_A):

Para procedimientos simplificados se puede considerar el calor específico del acero (c_a) independiente de la temperatura y de valor:

$$c_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

9.1.2 COEFICIENTE DE GRADO PELIGROSIDAD

TABLA 1.1

Grado de peligrosidad de los combustibles

Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, C_i

ALTA	MEDIA	BAJA
- Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1	- Líquidos clasificados como subclase B ₂ en la ITC MIE-APQ1.	- Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1.
- Líquidos clasificados como subclase B ₁ en la ITC MIE-APQ1.	- Líquidos clasificados como clase C en la ICE MIE-APQ1.	
- Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C.	- Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C.	- Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.
- Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente.	- Sólidos que emiten gases inflamables.	
- Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.		
C _i = 1,60	C _i = 1,30	C _i = 1,00

Figura 53: Tabla de grado de peligrosidad

(Fuente: Villanueva, 1893)

9.1.3 COEFICIENTE ADIMENSIONAL QUE CORRIGE EL GRADO DE PELIGROSIDAD

TABLA 1.2

Valores de densidad de carga de fuego media de diversos procesos industriales, de almacenamiento de productos y riesgo de activación asociado, Ra

Actividad	Fabricación y venta			Almacenamiento		
	Q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
Abonos químicos	200	48	1,5	200	48	1,0
Aceites comestibles	1.000	240	2,0	18.900	4.543	2,0
Aceites comestibles, expedición	900	216	1,5	18.900	4.543	2,0
Aceites: mineral, vegetal y animal	1.000	240	2,0	18.900	4.543	2,0
Acero	40	10	1,0			
Acero, agujas de	200	48	1,0			
Acetileno, llenado de botellas	700	168	1,5			
Ácido carbónico	40	10	1,0			
Ácidos inorgánicos	80	19	1,0			
Acumuladores	400	96	1,5	800	192	1,5
Acumuladores, expedición	800	192	1,5			
Agua oxigenada	Especial	Especial	Especial			
Alambre metálico aislado	300	72	1,0	1.000	240	2,0
Alambre metálico no aislado	80	19	1,0			
Alfarería	200	48	1,0			
Algodón en rama, guata	300	72	1,5	1.100	264	2,0
Algodón, almacén de				1.300	313	2,0
Alimentación, embalaje	800	192	1,5	800	192	1,5
Alimentación, expedición	1.000	240	2,0			

Figura 54: Tabla Coeficiente corrige grado de peligrosidad

(Fuente: Aguilera, 2004)

9.2 FACTOR DE ABERTURAS

La magnitud de un incendio es en función de la cantidad de combustible, pero la temperatura máxima alcanzada no es solo proporcional a la carga de

fuego inicial, pues intervienen dos factores más: el oxígeno disponible y la pérdida de calorías por las aberturas.

La velocidad de ignición se muestra muy dependiente del tamaño y forma de la abertura de ventilación. El factor de abertura está definido por la expresión:

$$V = \frac{S_a * \sqrt{h_a}}{S}$$

Siendo;

V = Es el factor de abertura (m^{1/2}),

S = Es el área total de las aberturas para el ambiente externo del edificio, incluyendo ventanas,

S_a = Es el área total incluyendo ventanales y aberturas

h_a = Es la altura media de las aberturas

$$h_a = \frac{\sum S_{ai} * h_{ai}}{\sum S_{ai}}$$

Donde;

h_{ai} = Es la altura de la abertura i, s

S_{ai} = Al área de la abertura i

∑ S_{ai} = La suma total de todas las aberturas

Para alcanzar la máxima temperatura debe producirse un equilibrio entre la aportación de oxígeno y la salida de calorías. Para los diferentes incendios ensayados, la temperatura máxima se obtiene con un factor de abertura de 0,055 m^{1/2}.

9.3 FACTOR DE EMISIVIDAD

El factor de emisividad depende de la posición del perfil con respecto a las llamas.

TIPO DE ELEMENTO ESTRUCTURAL	e_r
1. PILAR EXPUESTO AL FUEGO POR TODAS SUS CARAS	0,7
2. PILAR EN FACHADA EXTERIOR	0,3
3. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR, APOYADO EN EL ALA INFERIOR Y SOLO ESTA EXPUESTA AL FUEGO	0,5
4. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR APOYADO EN EL ALA SUPERIOR:	
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,5	0,5
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,7	0,7
VIGAS EN CAJON O EN CELOSIA	0,7

Figura 55: Coeficiente de emisividad (e_r)

(Fuente: González, 2010)

9.4 FACTOR DE FORMA

El factor de forma se lo conoce también como masividad, es decir es el perímetro del perfil sobre el área del mismo.

Como ya se lo menciono antes este factor depende únicamente del perímetro y la sección transversal de los elementos, también si estas se encuentran protegidos o no.

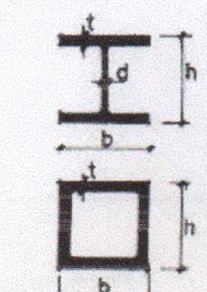
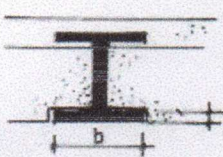
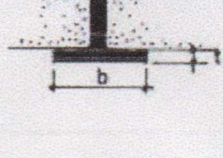
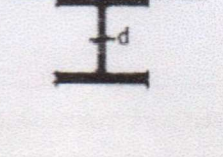
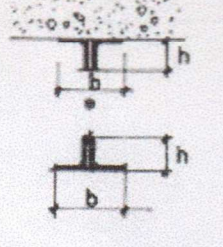
<p>PILAR DENTRO DE UN SECTOR DE INCENDIO</p>		<p>(f)</p> $\frac{P_s}{A_s} = \frac{2h+4b-2d}{\text{sección transversal}}$ $\frac{P_s}{A_s} = \frac{2h+2b}{\text{sección transversal}}$
<p>VIGA SOPORTANDO FORJADO APOYADO EN ALA INFERIOR</p>		$\frac{P_s}{A_s} = \frac{b}{b-t} = \frac{1}{t}$
<p>VIGA SOPORTANDO FORJADO APOYADO EN ALA SUPERIOR</p>		$\frac{P_s}{A_s} = \frac{b+2t}{b-t}$
<p>VIGA SOPORTANDO FORJADO APOYADO EN ALA SUPERIOR</p>		$\frac{P_s}{A_s} = \frac{2h+3b-2d}{\text{sección transversal}}$
<p>VIGA DE CELOSIA SOPORTANDO FORJADO EN CORDON SUPERIOR</p>		$\frac{P_s}{A_s} = \frac{b+2h}{\text{sección cordon superior}}$ $\frac{P_s}{A_s} = \frac{\text{perimetro diagonal}}{\text{sección diagonal}}$ $\frac{P_s}{A_s} = \frac{2b+2h}{\text{sección cordon inferior}}$

Figura 56: Factor de forma para secciones no protegidas

(Fuente: González, 2010)


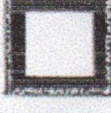
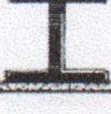
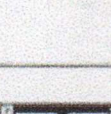


<p>PILAR DENTRO DE UN SECTOR DE INCENDIO</p>		<p>(f)</p> $f = \frac{2h + 4b - 2d}{\text{SECCION TRANSVERSAL}}$
<p>VIGA SOPORTANDO FORJADO APOYADO EN ALA INFERIOR</p>		$f = \frac{2h + 2b}{\text{SECCION TRANSVERSAL}}$
<p>VIGA SOPORTANDO FORJADO APOYADO EN ALA SUPERIOR</p>		$f = \frac{b}{bt} = \frac{1}{t}$
<p>VIGA DE CELOSIA SOPORTANDO FORJADO EN CORDON SUPERIOR</p>		$f = \frac{b + 2t}{bt}$
<p>VIGA DE CELOSIA SOPORTANDO FORJADO EN CORDON SUPERIOR</p>		$f = \frac{2h + b}{\text{SECCION TRANSVERSAL}}$
<p>VIGA DE CELOSIA SOPORTANDO FORJADO EN CORDON SUPERIOR</p>		$f = \frac{b + 2h}{\text{SECCION CORDON SUPERIOR}}$ $f = \frac{\text{PERIMETRO DIAGONAL}}{\text{SECCION DIAGONAL}}$ $f = \frac{2b + 2h}{\text{SECCION CORDON INFERIOR}}$

Figura 57: Factor de forma para secciones protegidas

(Fuente: González, 2010)

9.5 TEMPERATURA EN LOS ELEMENTOS DE ACERO

La temperatura que alcanza un perfil o elemento estructural de acero sin protección es función de:

- La carga de fuego Q
- El factor de aberturas
- El factor de forma
- El coeficiente de emisividad

En función de estos factores se ha tabulado tablas de temperatura máxima aproximada alcanzadas por un perfil. Con ella encontramos la temperatura a la que estarán expuesta, luego procedemos a protegerla con mortero proyectable, placas rígidas o pintura. Dependiendo de costos y tiempo que desea que resista el perfil. Luego volvemos a calcular el factor de forma para encontrar la nueva temperatura que actúa sobre los elementos

CAPÍTULO 10: DISEÑO DE PROTECCIÓN CON MORTERO **PROYECTABLE A VIGA Y COLUMNA DE PARQUEADERO DE** **LA JUDICATURA**

Sea el sector de incendio representado en la figura, correspondiente a un parqueadero. Existen 4 plantas de iguales características por encima, siendo la estructura de acero A572 Grado 50, con perfiles W representando las vigas y columnas tubulares rectangulares rellenas de un hormigón con 280 kg/cm² de resistencia a la compresión. No tiene paredes exteriores ni interiores y la losa es de Steel panel con una losa de compresión de 280 kg/cm² de resistencia a la compresión.

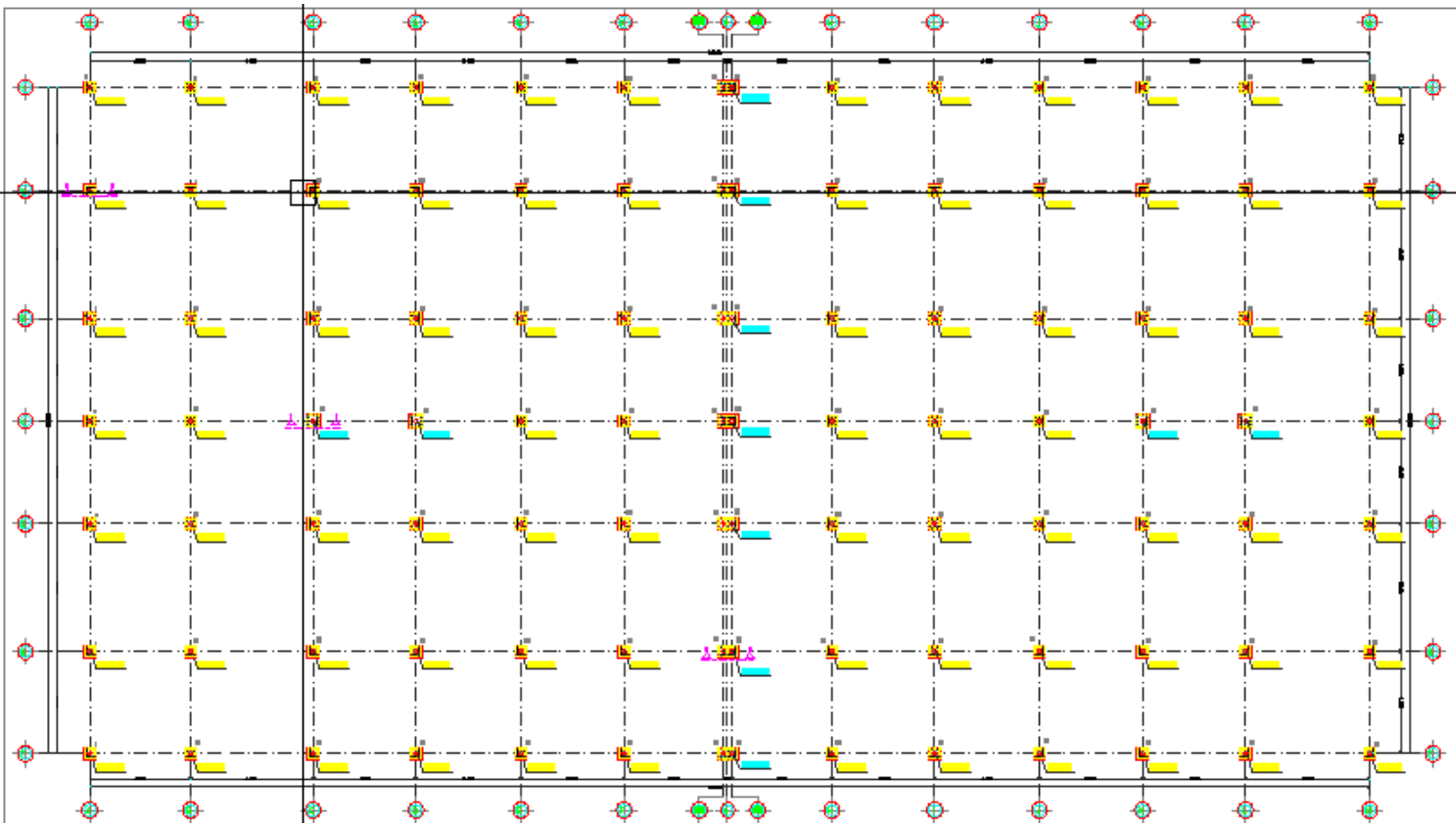


Figura 58: Vista en Planta de Parqueadero Judicatura
(Fuente: Procel, 2015)

10.1 Temperatura alcanzada por el pilar en caso de incendio:

Área total:

En este caso, como no hay paredes solo se considera el área de la losa, pero dos veces, porque encima de ella existe un piso más. La losa tiene dimensiones de 66,6 m de largo y 34,4 m de ancho.

$$S_T = 66,6 * 34,4 * 2 = 4582,08m^2$$

Área real:

Es el área total menos el área de las aberturas. Como no hay paredes el área real se mantiene igual al área total.

$$S_{REAL} = 4582,08 - (0)$$

$$S_{REAL} = 4582,08 m^2$$

10.1.1 Carga de fuego:

Para calcular la carga de fuego primero se calcula el peso en kg de todos los elementos estructurales. Existen dos vigas, tipo I y tipo II:

$$q_{viga} = 55,39 \frac{kg}{m} \quad (tipo I)$$

$$q_{viga} = 48,32 \frac{kg}{m} \quad (tipo II)$$

$$q_{columna} = 122,46 \frac{kg}{m} \quad (\text{acero})$$

$$q_{columna} = 384 \frac{kg}{m} \quad (\text{hormigon})$$

$$q_{losa} = 281,45 \text{ kg/m}^2$$

Como la columna esta rellena de hormigón se calcula los pesos por separado.

El acero y hormigón no poseen un calor específico propio porque no hacen ignición, es decir, los elementos de acero no se encienden sino que se funden, en cambio, el hormigón explota y salen las armaduras a la vista.

El poder calorífico del hormigón armado equivale a 12 Mcal/kg y el acero a 8 Mcal/kg.

Entonces el poder calorífico de los materiales en la columna sería:

$$G_i * q_i = 8 \frac{\text{Mcal}}{\text{kg}} * 122,46 = 979,68 \text{ Mcal/m}$$

$$G_i * q_i = 12 \frac{\text{Mcal}}{\text{kg}} * 384 \text{ kg} = 4608 \text{ Mcal/m}$$

10.1.1.1 Coeficiente de peligrosidad:

Luego es necesario calcular el coeficiente de peligrosidad y el coeficiente de corrección de peligrosidad, que se los encuentra en tablas ya establecidas.

ALTA	MEDIA	BAJA
- Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1	- Líquidos clasificados como subclase B ₂ en la ITC MIE-APQ1.	- Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1.
- Líquidos clasificados como subclase B ₁ en la ITC MIE-APQ1.	- Líquidos clasificados como clase C en la ICE MIE-APQ1.	
- Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C.	- Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C.	- Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.
- Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente.	- Sólidos que emiten gases inflamables.	
- Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.		
C _i = 1,60	C _i = 1,30	C _i = 1,00

10.1.1.2 Coeficiente de corrección de peligrosidad:

Actividad	Fabricación y venta			Almacenamiento		
	Q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
Abonos químicos	200	48	1,5	200	48	1,0
Aceites comestibles	1.000	240	2,0	18.900	4.543	2,0
Aceites comestibles, expedición	900	216	1,5	18.900	4.543	2,0
Aceites: mineral, vegetal y animal	1.000	240	2,0	18.900	4.543	2,0
Acero	40	10	1,0			
Acero, agujas de	200	48	1,0			
Hilados, torcido	300	72	1,5			
Hojalaterías	100	24	1,0			
Hormigón, artículos de	100	24	1,0			
Hornos	200	48	1,0			

La carga de fuego está dado por;

$$Q = \frac{\sum G_i * q_i}{S_T} C_i * R_a \quad \left(\frac{Mcal}{m^2}\right)$$

Donde;

G_i: masa en kg de cada de los elementos

q_i: poder calorifico de cada elemento

C_i: coeficiente de peligrosidad

R_a: coeficiente que corrige el grado de peligrosidad

S_T: área total

$$Q_s = \frac{4608 + 979,68}{4582,08 \text{ m}^2} 1 * 1 \left(\frac{Mcal}{m^2}\right)$$

$$Q_s = \frac{5587,68}{4582,08 \text{ m}^2} 1 * 1 \left(\frac{Mcal}{m^2}\right)$$

$$Q_s = 1,22 \frac{Mcal}{m^2}$$

Una vez que se obtiene la densidad de carga de fuego, se debe multiplicar para el área o sector de incendio de un pilar y se obtiene la carga de fuego.

$$Q = Q_s * A$$

$$Q = 1,22 * (5,5 * 6) = 40,26 Mcal$$

10.1.2 Factor de abertura:

$$\frac{S_a * \sqrt{h_a}}{S_T}$$

Donde;

S_a : superficie de las aberturas (m²)

S_T : área total

$$h_a = \frac{\sum S_a * h_{ai}}{\sum S_a}$$

$$S_a = 4,8 * 3,00 * 36 = 518,4 m^2$$

$$S_T = 4582,08 m^2$$

$$h_a = \frac{4,8 * 3,00 * 3,00 * 36}{518,4} = \frac{1555,2}{518,4} = 3 m$$

Luego se reemplaza todos los datos en la siguiente ecuación:

$$\frac{518,4 * \sqrt{3}}{4582,08} = 0,1958 m^{1/2}$$

10.1.3 Factor de forma:

Por medio de tablas donde se muestran los diferentes perfiles de acero, obtenemos la siguiente ecuación:

$$f = \frac{2h + 2b}{\text{seccion transversal}}$$

Donde;

h = altura de la sección transversal

b = base de la sección transversal

$$f = \frac{2 * (0,4) + 2(0,4)}{0,016} = \frac{1,6}{0,016}$$

$$f = 100 \text{ m}^{-1}$$

10.1.4 Coeficiente de emisividad:

El pilar está expuesto por todos los lados. De la tabla T-1 obtenemos $e_T = 0,7$.

TIPO DE ELEMENTO ESTRUCTURAL	e_r
1. PILAR EXPUESTO AL FUEGO POR TODAS SUS CARAS	0,7
2. PILAR EN FACHADA EXTERIOR	0,3
3. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR, APOYADO EN EL ALA INFERIOR Y SOLO ESTA EXPUESTA AL FUEGO	0,5
4. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR APOYADO EN EL ALA SUPERIOR:	
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,5	0,5
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,7	0,7
VIGAS EN CAJON O EN CELOSIA	0,7

10.1.5 Carga crítica del pilar:

Datos:

$$A = 160 \text{ cm}^2$$

$\gamma = 1$ (Es un coeficiente que depende del grado de libertad de la dilatación del pilar: $\gamma = 1$ para libertad total y $\gamma = 0$ para dilatación totalmente impedida.)

$$L = 3,00 \text{ m}$$

Utilizando la tabla T-4 de temperaturas en los perfiles de acero no protegidos; encontramos la siguiente temperatura:

$$T_p > 730^\circ\text{C}$$

Q	S	f	T _p			Q	S	f	T _p			Q	S	f	T _p			Q	S	f	T _p				
			°C						°C						°C						°C				
			0,3	0,5	0,7				0,3	0,5	0,7				0,3	0,5	0,7				0,3	0,5	0,7	0,3	0,5
10	0,01	50	325	345	370	0,01	50	400	420	440	0,01	25	390	425	445	0,01	25	430	490	530	0,01	25	430	490	530
		75	365	385	405		75	435	445	460		75	465	480	490		75	510	525	530		75	525	530	535
		100	295	410	425		100	450	460	470		100	485	500	500		100	530	535	535		100	530	535	535
		125	410	425	435		125	460	470	475		125	495	505	505		125	530	535	535		125	530	535	540
		150	425	435	440		150	470	475	480		150	500	505	510		150	535	540	540		150	535	540	540
		200	435	445	445		200	475	480	480		200	505	510	515		200	535	540	540		200	535	540	540
	400	450	450	450	400	480	485	485	400	510	515	515	400	540	540	540	400	540	540	540					
	0,02	50	335	380	410	0,02	50	425	480	515	0,02	50	500	550	575	0,02	50	555	600	625	0,02	50	555	600	625
		75	410	445	475		75	500	540	565		75	560	600	620		75	610	640	630		75	610	640	630
		100	445	490	520		100	540	575	595		100	595	620	630		100	640	650	635		100	640	650	635
		125	480	520	545		125	565	600	610		125	615	630	640		125	650	655	660		125	650	655	660
		150	500	540	555		150	585	605	615		150	625	640	645		150	650	650	650		150	650	650	650
		200	540	560	575		200	605	620	625		200	635	645	650		200	650	650	650		200	650	650	650
	400	575	595	585	400	625	630	630	400	650	650	650	400	650	650	650	400	650	650	650					
	0,04	50	285	320	365	0,04	50	460	435	510	0,04	50	495	555	625	0,04	50	570	645	700	0,04	50	570	645	700
		75	350	400	450		75	490	550	600		75	585	650	700		75	640	690	760		75	640	690	760
		100	405	460	510		100	550	610	655		100	650	700	740		100	700	740	780		100	700	740	780
		125	490	515	555		125	600	650	690		125	700	740	780		125	740	780	820		125	740	780	820
		150	495	555	595		150	625	680	710		150	740	780	820		150	780	820	860		150	780	820	860
		200	550	605	645		200	650	700	740		200	780	820	860		200	820	860	900		200	820	860	900
	400	625	660	690	400	725	760	795	400	860	900	940	400	900	940	980	400	900	940	980					
	0,06	50	215	275	330	0,06	50	340	400	475	0,06	50	390	400	550	0,06	50	400	460	590	0,06	50	400	460	590
		75	305	370	425		75	425	490	575		75	495	590	670		75	500	580	700		75	500	580	700
		100	365	410	485		100	500	550	630		100	565	670	705		100	590	655	800		100	590	655	800
125		415	450	545	125		550	600	680	125		630	715	790	125		650	720	-	125		650	720	-	
150		450	480	580	150		600	650	730	150		670	755	830	150		690	760	-	150		690	760	-	
200		520	550	660	200		650	700	785	200		730	815	890	200		750	820	-	200		750	820	-	
400	615	680	735	400	730	795	860	400	815	890	965	400	840	910	-	400	840	910	-						
0,08	50	200	250	300	0,08	50	300	375	460	0,08	50	310	375	500	0,08	50	345	415	540	0,08	50	345	415	540	
	75	270	330	400		75	380	465	535		75	425	480	610		75	450	510	640		75	450	510	640	
	100	330	400	460		100	450	545	605		100	490	560	700		100	520	585	730		100	520	585	730	
	125	360	450	510		125	500	595	670		125	550	630	775		125	580	655	800		125	580	655	800	
	150	410	510	580		150	555	650	710		150	600	690	840		150	630	705	830		150	630	705	830	
	200	480	590	660		200	625	725	785		200	680	775	920		200	710	795	880		200	710	795	880	
400	600	700	760	400	700	800	860	400	780	880	940	400	820	910	980	400	820	910	980						
0,12	50	170	200	260	0,12	50	260	290	400	0,12	50	285	310	415	0,12	50	310	375	500	0,12	50	310	375	500	
	75	220	260	350		75	340	380	500		75	425	480	610		75	450	510	640		75	450	510	640	
	100	240	310	400		100	390	460	600		100	490	560	700		100	520	585	730		100	520	585	730	
	125	260	380	540		125	450	540	675		125	550	630	775		125	580	655	800		125	580	655	800	
	150	310	430	620		150	500	600	750		150	600	685	-		150	630	705	840		150	630	705	840	
	200	380	500	700		200	575	680	-		200	650	735	-		200	680	765	900		200	680	765	900	
400	450	620	800	400	650	820	-	400	730	815	-	400	760	845	980	400	760	845	980						
0,01	50	385	385	405	0,01	50	460	515	550	0,01	50	520	575	605	0,01	50	585	665	715	0,01	50	585	665	715	
	75	410	425	435		75	530	570	595		75	615	635	650		75	660	675	685		75	660	675	685	
	100	430	445	450		100	485	495	495		100	635	635	650		100	680	685	690		100	680	685	690	
	125	440	450	460		125	485	495	500		125	635	635	650		125	680	685	690		125	680	685	690	
	150	450	455	460		150	490	495	500		150	640	640	655		150	685	685	695		150	685	685	695	
	200	455	460	465		200	495	495	500		200	645	645	655		200	690	690	695		200	690	690	695	
400	465	470	470	400	500	500	500	400	650	650	665	400	695	695	700	400	695	695	700						
0,02	50	385	385	405	0,02	50	460	515	550	0,02	50	520	575	605	0,02	50	585	665	715	0,02	50	585	665	715	
	75	410	425	435		75	530	570	595		75	615	635	650		75	660	675	685		75	660	675	685	
	100	430	445	450		100	485	495	495		100	635	635	650		100	680	685	690		100	680	685	690	
	125	440	450	460		125	485	495	500		125	635	635	650		125	680	685	690		125	680	685	690	
	150	450	455	460		150	490	495	500		150	640	640	655		150	685	685	695		150	685	685	695	
	200	455	460	465		200	495	495	500		200	645	645	655		200	690	690	695		200	690	690	695	
400	465	470	470	400	500	500	500	400	650	650	665	400	695	695	700	400	695	695	700						

Obtuvimos ese valor, debido a que tenemos una carga de fuego de 40,26 Mcal, un factor de abertura de 0,1958, un factor de forma de 100 m^{-1} y un factor de emisividad de 0,7.

Profile Height (cm)	Exposure Time (h)	50 mm	75 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm
12.5	0.01	125	440	450	460		
	0.02	50	380	435	470		
	0.04	50	340	400	450		
	0.06	50	290	335	400		
	0.08	50	150	315	380		
	0.12	50	200	230	330		
17.5	0.01	50	460	515	550		
	0.02	50	450	545	575		
	0.04	50	345	435	490		
	0.06	50	275	330	450		
	0.08	50	100	425	505	650	
	0.12	50	200	230	330	450	
22.5	0.01	50	525	600	660		
	0.02	50	525	600	660		
	0.04	50	390	455	550		
	0.06	50	275	330	450		
	0.08	50	100	425	505	650	
	0.12	50	200	230	330	450	
45	0.01	50	620	690	735		
	0.02	50	620	690	735		
	0.04	50	480	550	645		
	0.06	50	365	425	495		
	0.08	50	100	425	505	650	
	0.12	50	200	230	330	450	
90	0.01	50	750	820	865		
	0.02	50	750	820	865		
	0.04	50	585	630	740		
	0.06	50	465	540	650		
	0.08	50	100	425	505	650	
	0.12	50	200	230	330	450	

Figura 59: Temperatura en los perfiles de acero no protegidos

(Fuente: González, 2010)

Ello nos indica que en esas condiciones el pilar no será utilizable porque $730^{\circ}\text{C} > 500^{\circ}\text{C}$ y a 500°C el acero ya ha perdido el 60% de su resistencia. Si protegemos el pilar con una capa de 4 cm de vermiculita, cuya conductividad a 500°C es $0,14\text{ kcal/m/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ (Figura 60), tenemos:

$$\frac{\text{espesor de aislante}}{\text{conductividad}} = \frac{e_m}{\lambda_m} = \frac{0,045}{0,14} = 0,321$$

Se escogió un espesor de 45 mm porque se tiene una masividad igual a 100 m^{-1} y además se requiere que resista al fuego 240 minutos. (VER TABLA PARA RECUBRIMIENTO CON MORTERO PROYECTABLE)

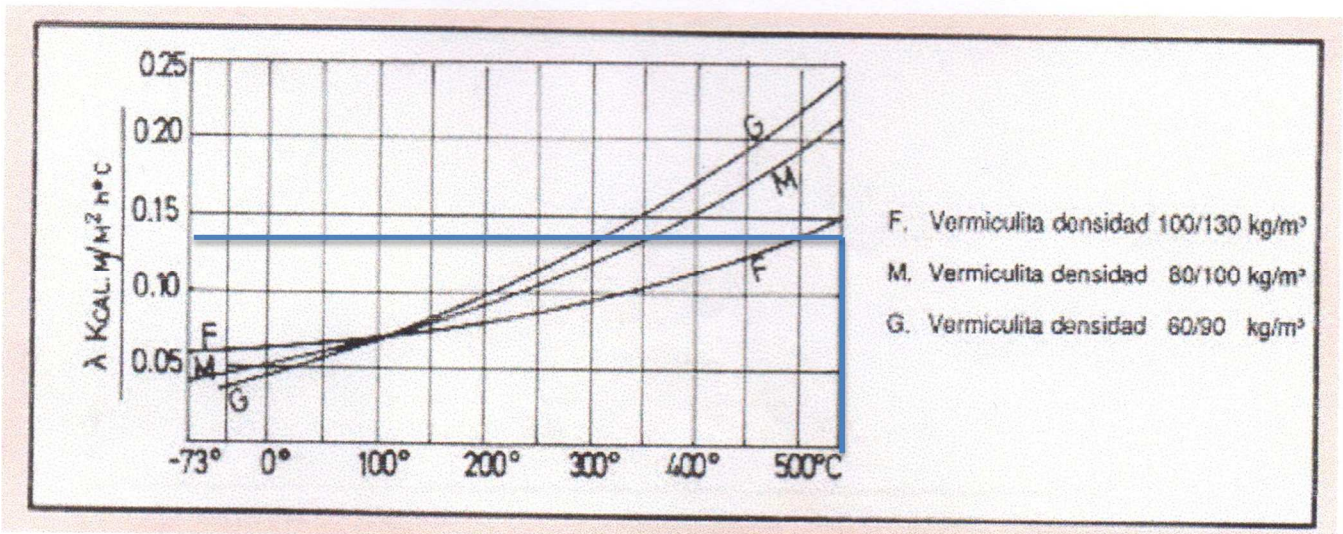


Figura 60: Conductividad térmica de la vermiculita

(Fuente: González, 2010)

10.1.6 Factor de forma con protección:

Por la protección del Mortero se modifica el perímetro del perfil y se vuelve a calcular el factor de forma:

$$f = \frac{2h + 2b}{\text{seccion transversal}}$$

$$f = \frac{1,96}{0,016}$$

$$f = 122,5 \text{ m}^{-1}$$

Buscando en la tabla T-5 (corresponde a la figura 61); con los siguientes datos:

$$Q = 40,28$$

$$\frac{S_a \sqrt{h_a}}{S_T} = 0,1958$$

$$f = 122,5$$

$$\frac{e_m}{\lambda_m} = 0,321 = 0,3$$

Obtenemos $T_p = 170^\circ\text{C}$, la reducción de temperatura es significativa, esto quiere decir que el tiempo para la evacuación será mayor. Recién al transcurrir 240 minutos (4 horas) los pilares de acero habrán alcanzado los 120°C .

Q	Sav/λ	Pm Ap	e _n /λm				Q	Sav/λ	Pm Ap	e _n /λm				Q	Sav/λ	Pm Ap	e _n /λm										
			0,05	0,10	0,20	0,30				0,05	0,10	0,20	0,30				0,05	0,10	0,20	0,30	0,05	0,10	0,20	0,30			
15	0,01	100	380	375	255	215	23	0,01	50	430	360	275	230	35	0,02	25	360	260	185	145	45	0,02	25	445	330	230	180
		125	405	350	260	240			75	470	410	330	275			50	490	380	270	225			50	570	460	340	275
		150	420	365	300	260			100	495	445	370	320			75	530	445	340	280			75	640	540	415	340
		200	440	395	335	200			125	505	465	395	350			100	595	490	385	325			100	670	580	470	395
	300	460	430	375	335	150		515	480	420	375	125	625		535	425	360	125	695	620		510	440				
	400	470	445	405	370	200		525	500	450	410	150	645		565	460	395	150	710	650		550	475				
	100	390	380	220	180	400		535	530	505	480	200	665		600	510	445	200	725	680		600	530				
	125	420	340	250	205	50		395	300	225	180	300	690		640	580	515	300	740	710		655	600				
	150	450	360	275	225	75		455	360	280	230	400	700		670	610	560	400	745	730		680	640				
	200	500	400	310	260	100		500	405	310	260	25	275		200	130	100	25	330	245		180	125				
	300	550	460	370	320	125		540	445	390	300	50	410		300	205	160	50	400	360		320	195				
	400	575	505	415	355	150		560	470	375	320	75	500		380	265	210	75	585	440		315	250				
20	0,01	125	375	270	195	155	30	0,02	200	595	515	420	360	40	0,04	100	560	440	310	250	50	0,04	100	630	500	370	300
		150	400	300	210	175			300	625	570	490	435			125	610	480	350	280			125	680	550	410	340
		200	450	350	250	205			400	650	605	525	470			150	650	525	385	310			150	715	590	450	370
		300	550	420	310	255			500	760	665	530	450			200	700	590	445	370			200	765	650	510	420
	400	600	475	365	300	600		870	775	645	520	300	800		700	560	490	300	825	725		600	510				
	150	350	250	175	140	75		400	295	200	160	400	710		585	510	400	400	710	585		510	400				
	200	400	295	210	170	100		450	350	240	195	50	360		250	165	125	25	280	195		125	95				
	300	480	370	260	210	125		510	380	270	220	75	430		320	215	170	50	420	360		260	155				
	400	540	420	305	245	150		550	420	300	250	100	500		370	255	200	75	510	380		260	205				
	0,02	200	350	255	185	145		200	600	480	350	290	125		555	415	295	235	100	585		440	310	245			
	0,04	300	425	335	225	180		300	680	555	425	365	150		595	455	320	260	125	640		490	350	280			
	0,06	400	500	390	270	200		400	775	615	485	420	200		660	520	380	305	150	685		530	390	310			
0,12	300	330	250	175	140	75	350	245	170	130	300	750	610	465	380	200	750	600	450	370							
0,01	75	420	355	280	235	200	565	490	310	245	400	690	635	530	440	400	765	610	455	320							
30	0,01	100	445	385	315	270	35	0,08	100	410	295	200	160	45	0,08	100	450	325	220	175	55	0,08	50	375	255	170	135
		125	460	415	340	290			125	455	330	230	185			125	555	415	295	235			50	440	300	200	155
		150	475	430	365	320			150	500	370	255	205			150	595	455	320	260			75	510	360	260	205
		200	490	455	395	355			200	550	420	300	250			200	660	520	380	305			100	585	440	310	245
	300	500	480	440	400	300		600	470	340	265	300	690		555	425	365	125	640	490		350	280				
	400	505	490	460	430	400		710	580	440	360	400	775		615	485	420	200	715	570		430	345				
	0,02	75	480	315	240	190		100	350	255	175	140	100		375	255	170	135	100	375		255	170	135			
		100	450	355	270	220		125	400	290	195	155	125		420	290	195	155	125	420		290	195	155			
		125	480	390	300	250		150	450	320	220	175	150		465	325	225	180	150	465		325	225	180			
		150	510	415	325	275		200	500	380	260	210	200		545	390	265	210	200	545		390	265	210			
	0,04	200	560	470	370	310		300	600	470	340	265	300		645	480	325	275	300	645		480	325	275			
		300	595	530	435	370		400	675	540	390	315	400		705	545	390	315	400	705		545	390	315			
400		615	560	475	410	500	760	615	465	380	500	800	650	500	400	500	800	650	500	400							
100		400	390	210	160	25	390	310	225	180	25	400	300	210	155	25	400	300	210	155							
0,06	125	450	340	260	190	50	480	410	320	270	50	520	425	310	250	50	520	425	310	250							
	150	480	365	280	210	75	515	460	360	315	75	595	495	390	315	75	595	495	390	315							
	200	540	420	310	250	100	525	490	420	365	100	635	545	435	360	100	635	545	435	360							
	300	620	500	280	310	125	540	510	450	400	125	665	580	480	400	125	665	580	480	400							
0,12	400	670	555	440	360	150	550	525	470	425	150	680	610	510	435	150	680	610	510	435							
	100	350	250	175	140	200	555	535	500	460	200	700	645	560	490	200	700	645	560	490							
	125	390	280	200	155	300	560	555	540	520	300	720	680	625	550	300	720	680	625	550							
	150	430	320	230	175	400	565	535	490	405	400	725	700	650	600	400	725	700	650	600							
40	0,01	200	490	170	260	210	30	0,01	25	325	240	165	130	40	0,01	25	300	220	145	115	50	0,01	25	375	255	170	135
		300	580	450	325	260			50	440	345	250	200			50	445	330	225	180			50	445	330	225	180
		400	640	505	380	310			75	510	405	305	250			75	525	400	290	235			75	525	400	290	235
		125	340	240	165	125			100	550	450	350	290			100	595	465	340	270			100	595	465	340	270
	150	370	260	185	130	125		580	490	385	325	125	645		510	380	310	125	645	510		380	310				
	200	440	310	225	175	150		605	520	420	355	150	680		550	420	340	150	680	550		420	340				
	300	530	400	280	215	200		630	560	470	400	200	730		615	475	395	200	730	615		475	395				
	400	600	450	340	260	300		665	610	540	470	300	790		695	565	480	300	790	695		565	480				
	0,02	200	360	250	180	140		400	675	640	570	515	400		760	670	610	545	400	760		670	610	545			
	0,04	75	395	280	190	150		25	325	240	165	130	25		300	220	145	115	25	300		220	145	115			
		100	460	335	230	190		50	440	345	250	200	50		445	330	225	180	50	445		330	225	180			
		125	510	375	265	210		75	510	405	305	250	75		525	400	290	235	75	525		400	290	235			
150		530	415	290	235	100	550	450	350	290	100	595	465	340	270	100	595	465	340	270							
0,06	200	620	475	345	275	125	580	490	385	325	125	645	510														

10.2 Temperatura alcanzada por las vigas tipo I:

10.2.1 Carga de fuego:

Área total:

$$S_T = 66,6 * 34,4 * 2 = 4582,08m^2$$

Área real:

Es el área total menos el área de las aberturas. Como no hay paredes el área real se mantiene igual al área total.

$$S_{REAL} = 4582,08 - (0)$$

$$S_{REAL} = 4582,08 m^2$$

Peso en kg de viga tipo I y losa:

$$q_{viga} = 55,39 \text{ kg/m}$$

$$q_{losa} = 281,45 \text{ kg/m}^2$$

El poder calorífico del acero recomendado es de $ca_{acero} = 8 \frac{Mcal}{kg}$:

$$G_i * q_i = 8 \frac{Mcal}{kg} * 55,39 = 443,12 \text{ Mcal/m}$$

$$G_i * q_i = 8 \frac{Mcal}{kg} * 281,45 = 3377,4 \text{ Mcal/m}$$

El factor de grado de peligrosidad C_i y el factor que corrige el grado de peligrosidad R_a son los mismos que se utilizaron en el pilar. Ambos equivalen a 1.

La carga de fuego está dado por;

$$Q_s = \frac{\sum G_i * q_i}{S_T} C_i * R_a \left(\frac{Mcal}{m^2} \right)$$

$$Q_s = \frac{(443,12 + 3377,4)}{4582,08 m^2} 1 * 1 \left(\frac{Mcal}{m^2} \right)$$

$$Q_s = \frac{3820,52}{4582,08 m^2} 1 * 1 \left(\frac{Mcal}{m^2} \right)$$

$$Q_s = 0,833 \left(\frac{Mcal}{m^2} \right)$$

$$Q = Q_s * A = 0,833 * (5,5 * 6) = 27,51 Mcal$$

10.2.2 Factor de abertura:

$$\frac{S_a * \sqrt{h_a}}{S_T}$$

$$S_a = 4,8 * 3,00 * 36 = 518,4 m^2$$

$$S_T = 4582,08 m^2$$

$$h_a = \frac{4,8 * 3,00 * 3,00 * 36}{518,4} = \frac{1555,2}{518,4} = 3 m$$

$$\frac{518,4 * \sqrt{3}}{4582,08} = 0,1958 m^{1/2}$$

10.2.3 Factor de forma:

$$f = \frac{2h + 4b - 2d}{\text{seccion transversal}}$$

$$f = \frac{2 * (0,4) + 4(0,2) - 2(0,006)}{0,007056} = \frac{0,8 + 0,8 - 0,012}{0,007056} = \frac{1,588}{0,007056}$$

$$f = 225,05 \text{ m}^{-1}$$

10.2.4 Coeficiente de emisividad:

El pilar está expuesto por todos los lados. De la tabla T-1 obtenemos $e_T = 0,5$.

Tabla T-1. Coeficiente de emisividad (e_r):

TIPO DE ELEMENTO ESTRUCTURAL	e_r
1. PILAR EXPUESTO AL FUEGO POR TODAS SUS CARAS	0,7
2. PILAR EN FACHADA EXTERIOR	0,3
3. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR, APOYADO EN EL ALA INFERIOR Y SOLO ESTA EXPUESTA AL FUEGO	0,5
4. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR APOYADO EN EL ALA SUPERIOR.	
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,5	0,5
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,7	0,7
VIGAS EN CAJON O EN CELOSIA	0,7

Buscando en la tabla T-4 con los siguientes datos:

$$Q = 27,51$$
$$\frac{S_a \sqrt{h_a}}{S_T} = 0,1958$$
$$f = 225,05$$
$$e_T = 0,5$$

Obtenemos una $T_p = 740^\circ\text{C}$.

10.2.5 Carga crítica de las vigas

10.2.5.1 Velocidad de calentamiento:

Para calcular la carga crítica de las vigas hay que considerar un nuevo factor, que es la velocidad de calentamiento, el cual tiene influencia en el proceso de deformación del perfil y por tanto en la carga crítica. Depende este factor de la carga de fuego y del factor de aberturas.

Las tablas T-7 (figura 62) utilizadas para el cálculo de la carga crítica en secciones W consideran tres velocidades de calentamiento: I ($100^\circ\text{C}/\text{min}$), II ($20^\circ\text{C}/\text{min}$) y III ($4^\circ\text{C}/\text{min}$). En el gráfico también aparecen líneas entrecortadas o continuas dependiendo de la temperatura que alcanzaría la viga. En este caso como la viga llega a una temperatura 740°C se usan las líneas de la gráfica más cercanas a este valor, en este caso las líneas entrecortadas que llegan a una temperatura de 650°C .

$$Q = 27,51$$
$$\frac{S_a \sqrt{h_a}}{S_T} = 0,1958$$

La velocidad de calentamiento es de $70^\circ\text{C}/\text{min}$

TABLA T-7 Velocidad de calentamiento

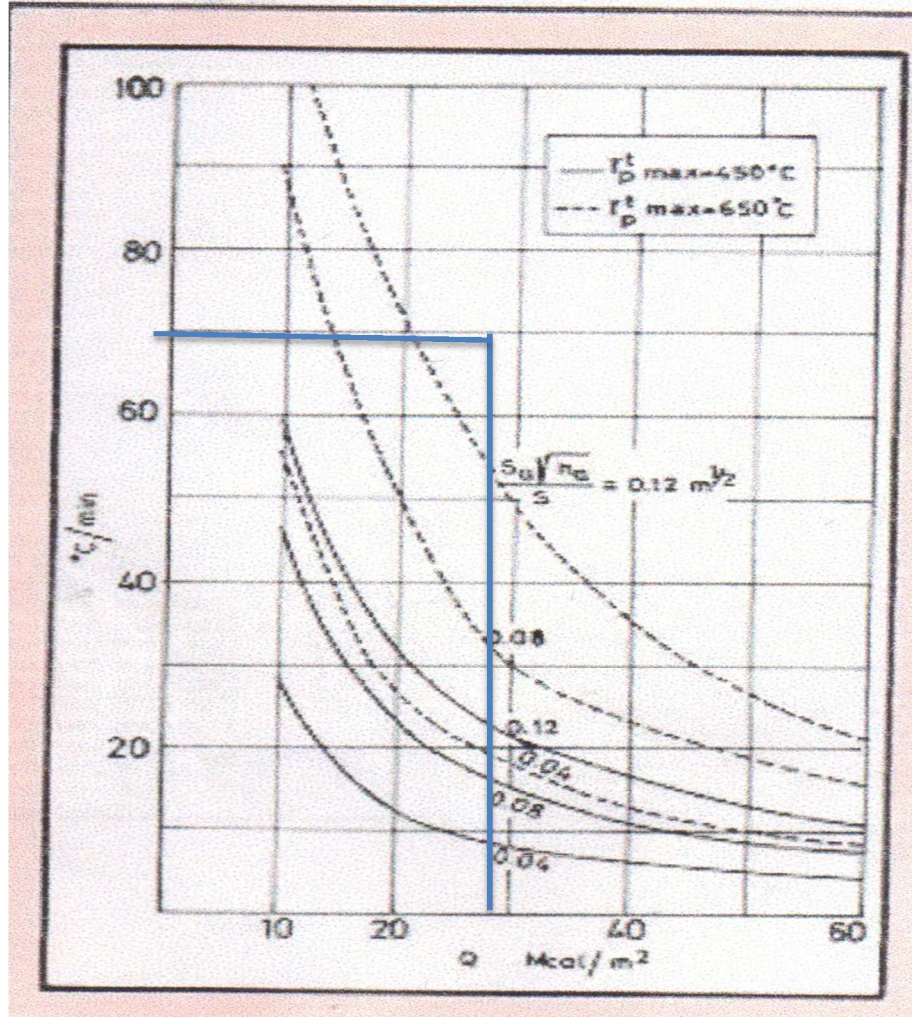


Figura 62: Velocidad de calentamiento

(Fuente: González, 2010)

10.2.5.2 Carga crítica:

La carga mayorada que soportan las vigas, a razón de $1197,74 \text{ kg}/\text{m}^2$, es de $7665,54 \text{ kg}/\text{ml}$. Para encontrar el coeficiente β se debe utilizar la figura 63.

La carga crítica, según las tablas T-8 (figura 63), para $T_p = 740^\circ\text{C}$, $V_c = 70^\circ\text{C}/\text{min}$, carga uniformemente repartida y viga simplemente apoyada, lo que da un $\beta = 0,3$

I	$V_c = 100^\circ\text{C}/\text{min}$.	p = carga puntual
II	$V_c = 20^\circ\text{C}/\text{min}$.	P = carga uniformemente repartida
III	$V_c = 4^\circ\text{C}/\text{min}$.	σ = tensión de trabajo
		W = módulo resistente
		L = luz

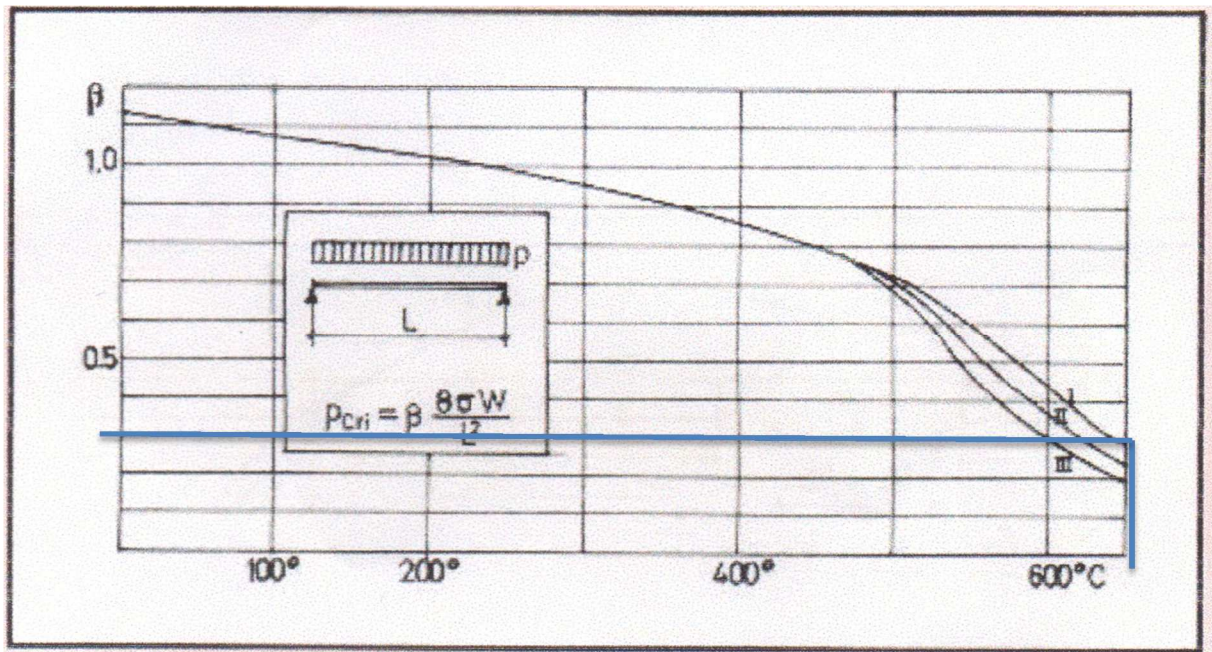


Figura 63: Coeficiente β para determinación de la Carga crítica

(Fuente: González, 2010)

Entonces la carga crítica que está definida por;

$$p = \beta \frac{\sigma_e 8W}{L^2}$$

Donde;

β = coeficiente para determinar la carga crítica

σ_e = tensión de trabajo

W = módulo resistente

L = longitud de la viga

p = carga uniformemente repartida

$$p = \beta \frac{\sigma_e 8W}{L^2} = 0,3 * \frac{2600 * 8 * 653 \text{cm}^3}{640^2} = 9,95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} = 994,80 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} < 7665,54 \frac{\text{kg}}{\text{ml}}$$

Luego se hace necesario proteger la viga igual que se hizo con el pilar. Se hará recubriéndola con 4 cm de vermiculita. Observando la tabla de los espesores con una masividad de 225 m-1 se obtuvo 58 mm para que resista 240 minutos.

$$\frac{\text{espesor de aislante}}{\text{conductividad}} = \frac{e_m}{\lambda_m} = \frac{0,058}{0,14} = 0,41$$

$$\frac{e_m}{\lambda_m} = 0,41 = 0,4$$

Se vuelve a calcular el factor de forma de la sección:

$$f = \frac{2h + b}{\text{seccion transversal}}$$
$$f = \frac{2(0,4) + 0,2}{0,007056} = 141,72 \text{ m}^{-1}$$

Entrando en la tabla T-5 con los siguientes valores:

$$Q = 27,51$$

$$\frac{S_a \sqrt{h_a}}{S_T} = 0,19$$

$$f = 141,72 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{e_m}{\lambda_m} = 0,41 = 0,4$$

Obtenemos una temperatura de $T_p = 160^\circ\text{C}$

Como la temperatura del perfil bajo se tendrá que averiguar la carga crítica para este nuevo valor.

La velocidad de calentamiento según T-7 es de $30^\circ\text{C}/\text{min}$. Luego se vuelve a calcular el coeficiente β . Considerando los nuevos valores en la T-8, obtenemos $\beta = 1,5$

$$p = \beta \frac{\sigma_e 8W}{L^2} = 1,5 * \frac{2600 * 8 * 653 \text{cm}^3}{640^2} = 49,74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} =$$

$$4974,02 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} < 7665,54 \frac{\text{kg}}{\text{ml}}$$

La viga cumple perfectamente su cometido.

10.3 Temperatura alcanzada por las vigas tipo II:

10.3.1 Carga de fuego:

Área total:

$$S_T = 66,6 * 34,4 * 2 = 4582,08 \text{m}^2$$

Área real:

Es el área total menos el área de las aberturas. Como no hay paredes el área real se mantiene igual al área total.

$$S_{REAL} = 4582,08 - (0)$$

$$S_{REAL} = 4582,08 \text{m}^2$$

Peso en kg de la viga tipo II y losa:

$$q_{viga} = 48,32 \text{kg/m}$$

$$q_{losa} = 281,45 \text{ kg/m}^2$$

El poder calorífico del acero recomendado es de:

$$ca_{acero} = 8 \frac{\text{Mcal}}{\text{kg}} * 48,32 = 386,56 \text{ Mcal/m}$$

$$ca_{acero} = 8 \frac{\text{Mcal}}{\text{kg}} * 281,45 = 3377,4 \text{ Mcal/m}^2$$

La carga de fuego está dado por;

$$Q_s = \frac{\sum G_j * q_j}{A} C_i * R_a \left(\frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right)$$

$$Q_s = \frac{(386,56 + 3377,4)}{4582,08 \text{ m}^2} 1 * 1 \left(\frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right)$$

$$Q_s = \frac{3763,96}{4582,08 \text{ m}^2} 1 * 1 \left(\frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right)$$

$$Q_s = 0,82 \left(\frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right)$$

$$Q = Q_s * A = 0,82 * (5,5 * 6) = 27,1 \text{ Mcal}$$

10.3.2 Factor de abertura:

$$\frac{S_a * \sqrt{h_a}}{S_T}$$

$$S_a = 4,8 * 3,00 * 36 = 518,4 \text{ m}^2$$

$$S_T = 4582,08 \text{ m}^2$$

$$h_a = \frac{4,8 * 3,00 * 3,00 * 36}{518,4} = \frac{1555,2}{518,4} = 3 \text{ m}$$

$$\frac{518,4 * \sqrt{3}}{4582,08} = 0,1958 \text{ m}^{1/2}$$

10.3.3 Factor de forma:

$$f = \frac{2h + 4b - 2d}{\text{seccion transversal}}$$

$$f = \frac{2 * (0,35) + 4(0,175) - 2(0,006)}{0,006156} = \frac{0,7 + 0,7 - 0,012}{0,006156} = \frac{1,412}{0,006156}$$

$$f = 229,37 \text{ m}^{-1}$$

10.3.4 Factor de emisividad:

El pilar está expuesto por todos los lados. De la tabla T-1 obtenemos $e_T = 0,5$.

Tabla T-1. Coeficiente de emisividad (e_r):

TIPO DE ELEMENTO ESTRUCTURAL	e_r
1. PILAR EXPUESTO AL FUEGO POR TODAS SUS CARAS	0,7
2. PILAR EN FACHADA EXTERIOR	0,3
3. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR, APOYADO EN EL ALA INFERIOR Y SOLO ESTA EXPUESTA AL FUEGO	0,5
4. VIGA SOPORTANDO FORJADO DE HORMIGON O SIMILAR APOYADO EN EL ALA SUPERIOR.	
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,5	0,5
VIGAS DE SECCION I CON RELACION ANCHO / ALTO 0,7	0,7
VIGAS EN CAJON O EN CELOSIA	0,7

Buscando en la tabla T-4 con los siguientes datos:

$$Q = 27,1$$

$$\frac{S_a \sqrt{h_a}}{S_T} = 0,1958$$

$$f = 229,37$$

$$e_T = 0,5$$

Obtenemos una temperatura de $T_p = 740^\circ\text{C}$.

10.3.5 Carga crítica de las vigas

10.3.5.1 Velocidad de calentamiento:

Para calcular la carga crítica de las vigas hay que considerar un nuevo factor, que es la velocidad de calentamiento, la cual tiene influencia en el proceso de deformación del perfil por tanto en la carga crítica. Depende este factor de la carga de fuego y del facto de aberturas.

Las tablas T-7 utilizadas para el cálculo de la carga crítica en secciones W consideran tres velocidades de calentamiento: I (100°C/min), II (20°C/min) y III (4°C.min). En el grafico también van aparecer líneas entrecortadas o continuas depende a que temperatura que alcanzaría la viga. En este caso se estima 650°C.

$$Q = 27,1$$

$$\frac{S_a \sqrt{h_a}}{S_T} = 0,1958$$

TABLA T-7 Velocidad de calentamiento

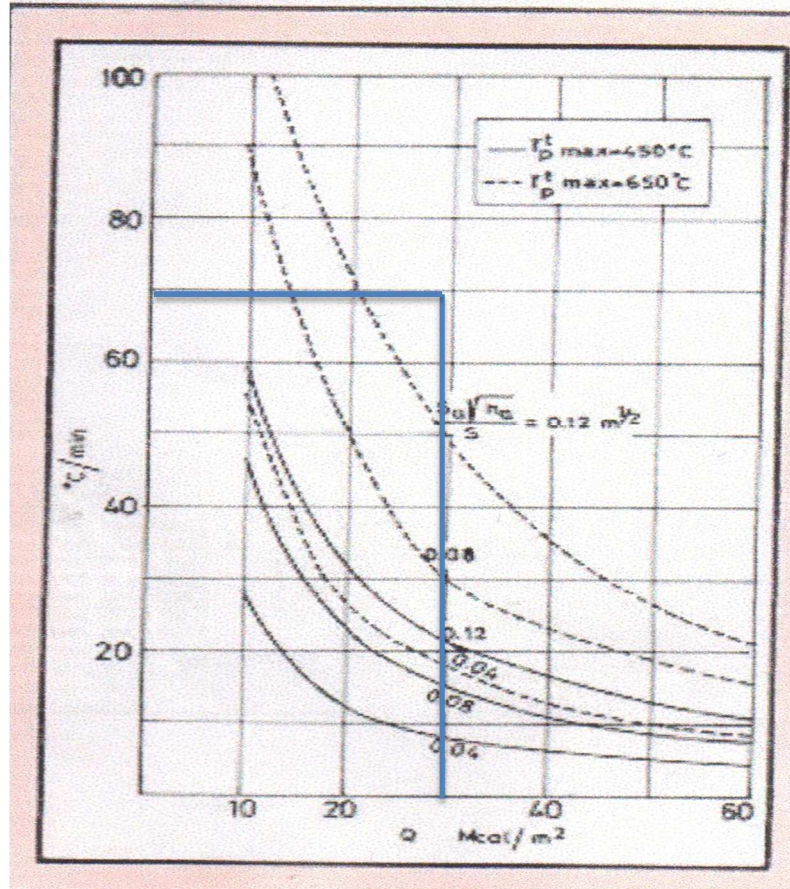


Figura 62: Velocidad de calentamiento

(Fuente: González, 2010)

Se obtuvo una velocidad de calentamiento es de $70^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

10.3.5.2 Carga crítica:

Las cargas actuantes son el peso de concreto de la losa de 228 kg/m², el peso del Steel panel de 3,45 kg/m², peso enlucido 50kg/m², peso de estructura metálica de 50 kg/m² con un total de carga muerta de 331,45 kg/m². Una carga viva de 500 kg/m². La carga mayorada que soportan las vigas de 6,4 metros, a razón de 1197,74 kg/m², es de 7665,54 kg/ml

La carga critica las tablas según T-8 para $T_p = 740^\circ\text{C}$, $V_c = 70^\circ\text{C}/\text{min}$, carga uniformemente repartida y viga simplemente apoyada, lo que da un $\beta = 0,3$

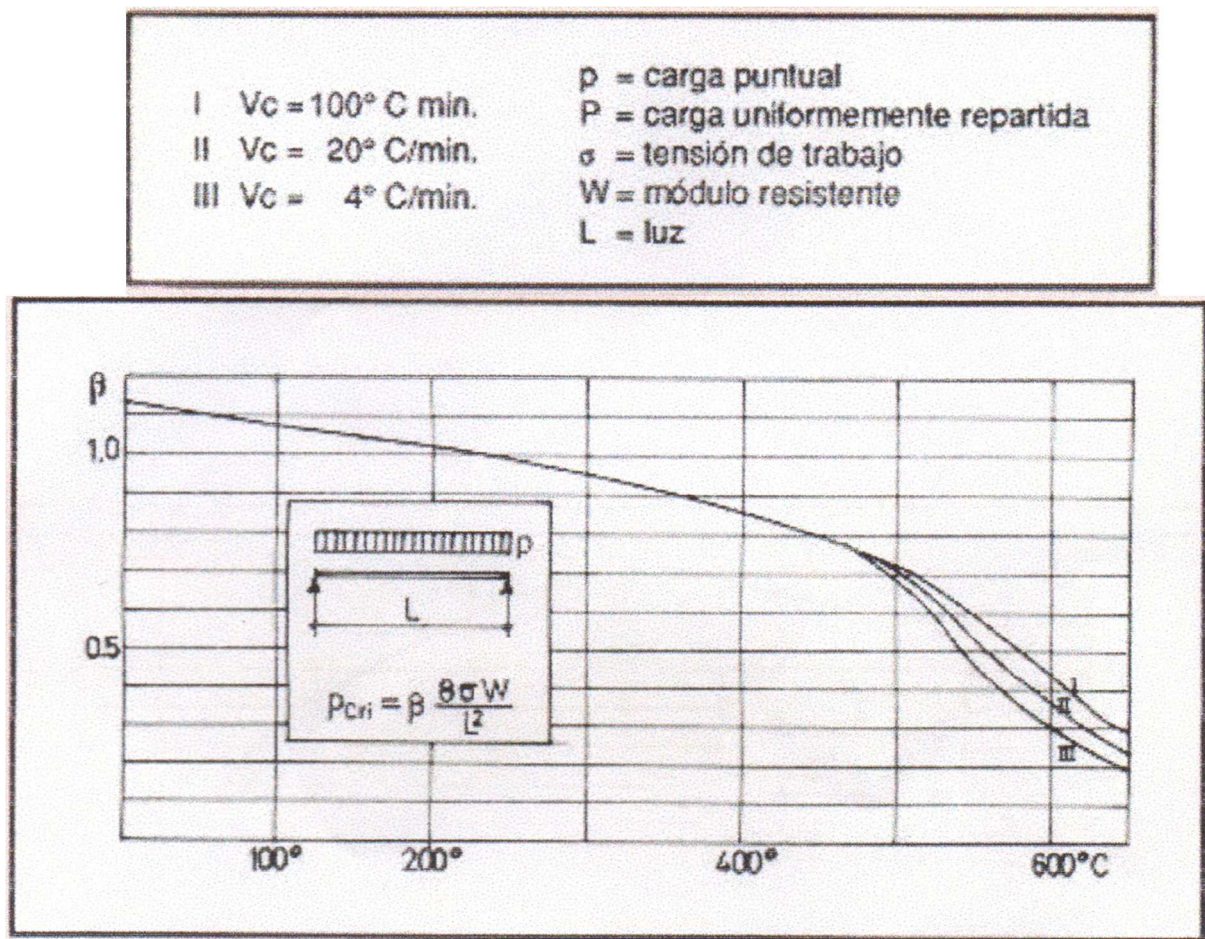


Figura 63: Coeficiente β para determinación de la Carga crítica

(Fuente: González, 2010)

$$p = \beta \frac{\sigma_e 8W}{L^2} = 0,3 * \frac{2600 * 8 * 653 \text{cm}^3}{640^2} = 9,95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} = 994,80 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} < 7665,54 \frac{\text{kg}}{\text{ml}}$$

Luego se hace necesario proteger la viga igual que se hizo con el pilar. Se hará recubriéndola con 4 cm de vermiculita. Observando la tabla de los espesores con una masividad de 225 m-1 se obtuvo 58 mm para que resista 240 minutos.

$$\frac{\text{espesor de aislante}}{\text{conductividad}} = \frac{e_m}{\lambda_m} = \frac{0,059}{0,14} = 0,42$$

$$\frac{e_m}{\lambda_m} = 0,42 = 0,4$$

Se vuelve a calcular el factor de forma de la sección:

$$f = \frac{2h + b}{\text{seccion transversal}}$$

$$f = \frac{2(0,35) + 0,175}{0,006156} = 142,14 \text{ m}^{-1}$$

Entrando en la tabla T-5 con los siguientes valores:

$$Q = 27,1$$

$$\frac{S_a \sqrt{h_a}}{S_T} = 0,1958$$

$$f = 142,14 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{e_m}{\lambda_m} = 0,42 = 0,4$$

Obtenemos una temperatura de $T_p = 160^\circ\text{C}$

Como la temperatura del perfil bajo se tendrá que averiguar la carga crítica para este nuevo valor.

La velocidad de calentamiento según T-7 es de $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Luego se vuelve a calcular el coeficiente β . Considerando los nuevos valores en la T-8, obtenemos $\beta = 1,5$

$$p = \beta \frac{\sigma_e 8W}{L^2} = 1,5 * \frac{2600 * 8 * 653 \text{cm}^3}{640^2} = 49,74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} = 4974,02 \frac{\text{kg}}{\text{ml}}$$
$$< 7665,54 \frac{\text{kg}}{\text{ml}}$$

La viga cumple perfectamente su cometido.

10.4 PRECIO DEL RUBRO

Rendimiento del mortero es de 7 kg/m² por un cm de espesor como el espesor que se va utilizar es de 4 cm tendrá un rendimiento de 28 kg/m².

Si la longitud de la viga es de 6,4 m y tiene una altura de 0,4 m y 0,35m, se debe utilizar 71,68 kg y 62,72 kg de mortero respectivamente, que equivale a 3 sacos y media como la compra debe ser exacta serian 4 sacos. El valor de un saco de 20 kg color blanco es de \$20,21, entonces solo para el revestimiento de una viga el precio sería de \$80,84 por la compra. En cambio para las columnas con una altura de 3 metros y un ancho de columna de 0,4 metros como son cuatro caras de la columna se necesitaría 134,4 kg de mortero, equivale a 7 sacos igual a \$141,47.

Además por costo de importación de los diferentes elementos estructurales se obtiene lo siguiente:

$$q_{viga} = 55,39 \text{ kg/m}$$

$$q_{viga} = 48,32 \text{ kg/m}$$

$$q_{columna} = 122,46 \text{ kg/m (acero)}$$

71 KG en adelante

Flete marítimo	\$ 1.75 x kg
Flete marítimo	\$ 1.75 x 71,68= \$125,44

Gastos de origen

AWB	\$ 15.00
SED	\$ 15.00
Handling	\$ 15.00
Delivery	0.08 x Lb – MIN \$ 30.00
Total	\$75

Gastos en destino (sujetos a IVA)

Administración	\$ 35.00
T. datos	\$ 15.00
Documentación	\$ 15.00
<u>5% ISD (aplica a flete + gastos de origen)</u>	
Total	\$65

El precio por importación del mortero proyectable de una viga de 55,39 kg es de \$265,44.

71 KG en adelante

Flete marítimo \$ 1.75 x kg
Flete marítimo \$ 1.75 x 62,72= \$109,76

Gastos de origen

AWB \$ 15.00
SED \$ 15.00
Handling \$ 15.00
Delivery 0.08 x Lb – MIN \$ 30.00
Total \$75

Gastos en destino (sujetos a IVA)

Administración \$ 35.00
T. datos \$ 15.00
Documentación \$ 15.00
5% ISD (aplica a flete + gastos de origen)
Total \$65

El precio por importación del mortero proyectable de una viga de 55,39 kg es de \$249,76.

71 KG en adelante

Flete marítimo \$ 1.75 x kg
Flete marítimo \$ 1.75 x 140= \$245

Gastos de origen

AWB \$ 15.00
SED \$ 15.00
Handling \$ 15.00
Delivery 0.08 x Lb – MIN \$ 30.00
Total \$75

Gastos en destino (sujetos a IVA)

Administración	\$ 35.00
T. datos	\$ 15.00
Documentación	\$ 15.00
<u>5% ISD (aplica a flete + gastos de origen)</u>	
Total	\$65

El precio por importación del mortero proyectable de una viga de 122,46 kg es de \$385.

Los costos calculados anteriormente son los rubros adicionales que tendría el acero para la protección contra el fuego. Todos los costos originales del acero sin incluir IVA son los siguientes:

El costo de acero es \$0,70/kg

El costo por fabricación es \$0,60/kg

Costo de montaje \$0,70/kg

Costo de flete 0,08/kg

Entonces para una viga de 55,39 kg/m de 6,4 m de longitud con un peso de 354,49 kg obtenemos lo siguiente:

Costo acero= \$248,14 + IVA= \$277,92

Costo fabricación= \$212,70 + IVA= \$238,22

Costo montaje= \$248,14 + IVA= \$277,92

Costo transporte= \$28,36 + IVA= \$31,76

Total costos directos= \$825,82

Costo sacos de mortero= \$80,84

Costo importación= \$265,44

Total \$1172,1

Para una viga de 48,32 kg/m de 6,4 m de longitud con un peso de 309,25 kg obtenemos lo siguiente:

Costo acero= \$216,48 + IVA= \$242,46

Costo fabricación= \$185,55 + IVA= \$207,82

Costo montaje= \$216,48 + IVA= \$242,46

Costo transporte= \$24,74 + IVA= \$27,71

Total costo directos= \$720,45

Costo sacos de mortero= \$80,84

Costo importación= \$249,76

Total \$1051,05

Para una columna de 122,46 kg/m de 3 m de longitud con un peso de 367,38 kg obtenemos lo siguiente:

Costo acero= \$257,17 + IVA= \$288,03

Costo fabricación= \$220,43 + IVA= \$246,88

Costo montaje= \$257,17 + IVA= \$288,03

Costo transporte= \$29,40 + IVA= \$32,93

Total costos directos= \$855,87

Costo sacos de mortero= \$141,47

Costo importación= \$385

Total \$1382,34

11. CONCLUSIONES

El acero es incombustible, pero el aumento de su temperatura supone importantes pérdidas en su capacidad mecánica. Suele denominarse temperatura crítica aquella en la que la capacidad mecánica del elemento estructural desciende por debajo de la necesaria para soportar las cargas que actúan en él. Debido a esto es necesario la protección de los elementos tanto con protección activa como pasiva.

Pero no solo hablamos de temperaturas significativamente altas, que son las que ocurren en un incendio, sino también cambios de temperatura ambientales que demuestran que si afectan sus propiedades físicas como en el caso del análisis de la armadura. Si comparamos las áreas calculadas de las barras que se encuentran a tensión, sometidas a las fuerzas internas que deben resistir; con las áreas de las barras que se encuentran a tensión sometidas a las fuerzas internas más los esfuerzos por cambio de temperatura tenemos que existe un incremento del 240% respecto a su área inicial. En el caso de las barras que se encuentran a compresión los esfuerzos se contrarrestan con el cambio de temperatura y sus áreas se reducen aproximadamente a la mitad.

La dilatación producida por la elevación de la temperatura en elementos lineales puede contribuir al derrumbe o colapso de la estructura. En el caso de pórticos la dilatación de la viga ocasiona un empuje que se suma a las deformaciones experimentadas y puede producir una curva hacia fuera por el fuego interior.

Se hizo un análisis para comprobar si estos cambios relevantes de temperatura ambientales están incluidos en las cargas de diseño en el Código de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Guayaquil es una ciudad que no tiene cambios bruscos en el transcurso del día, es decir la variación de temperatura no causaría inconvenientes graves. Por otro lado la

región Sierra si sufre cambios violentos de temperatura alrededor de una variación de 18°C a lo largo del día. Se analizó un pórtico del parqueadero de la Judicatura y se concluyó que en nuestro país, refiriéndonos a todas las regiones, la combinación de carga con la que se diseña las estructuras indirectamente si toma en consideración los cambios de temperatura ambiental. Si sumamos los coeficientes que mayoran la carga viva y muerta tenemos un valor de 2,8. El factor β resulto muy cercano, entonces esto quiere decir:

$$1,2 D + 1,6 L = 1,00 D + 1,00 L + 2,81 \Delta T \quad OK$$

Del análisis hecho sobre un incendio, se derivan algunas conclusiones. Si comenzamos con los modos de protección activo, es cierto que son muy útiles y está demostrado que su uso permite abortar un incendio para que este no incurriere a la fase del Flashover y evitar que su combustión sea mayor por el consumo de todos los materiales a su alrededor. Pero existe un gran problema que son las alarmas de detección, pues los sprinkles son sistemas automatizados que necesitan supervisión para detectar si existe algún inconveniente. Se necesita verificar el funcionamiento de los dispositivos de alarma y su posible conexión a centros de control para que al momento que se requiera su servicio, funcione todo en orden.

Además, se debe efectuar las pruebas operativas necesarias para sustituir aquellos rociadores que hayan sido golpeados, pintados, o que muestren signos de corrosión o cualquier otro daño.

La vida útil de los rociadores (sprinklers) automáticos depende, en gran medida, de las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidos. Para poder fiarnos de los sprinkles se deberá hacer pruebas de control 2 veces al mes y tener un informe actualizado de ello.

Sobre la protección pasiva se concluye que el mortero proyectable es la solución más viable, debido que permite la evacuación más prolongada de los ocupantes del edificio, alrededor de 4 horas.

En el diseño de protección pasiva se optó por esa alternativa. Primero es necesario recordar que para que un elemento estructural alcance su temperatura crítica en un tiempo determinado depende de la carga de fuego, aberturas, material combustible, pero también de la superficie, sección transversal o espesores del perfil, denominándose factor de forma. Por este motivo, los elementos de gran sección son más estables en relación a los elementos con secciones menores. Además, al diseñar se puede observar que la absorción de calor es más lenta en perfiles tubulares o cajón que las secciones abiertas. Al principio el pilar tiene una temperatura de 730°C mientras que la viga tiene una temperatura de 740°C. Con protección, el pilar alcanza una temperatura de 120°C a las 4 horas de haber transcurrido el incendio mientras que la viga alcanza 160°C con las mismas condiciones.

En contraposición de la temperatura crítica, la carga crítica es la que puede soportar un elemento estructural a una temperatura determinada y de acuerdo con las capacidades mecánicas a esa temperatura. Entonces es muy útil el uso de mortero proyectable a las 4 horas, pues los pilares y vigas estarán recién a los 170°C, permitiendo una evacuación más duradera y también disminuyendo el riesgo de la vida de los bomberos que estarán expuesto al apagar un incendio.

Además de cumplir con los requisitos de diseño, el producto debe ser asequible, es decir el producto debe de encontrarse en el mercado y su costo no debe ser muy elevado porque si no el precio por kilogramo subiría aún más. El producto no se encuentra en nuestro medio, se debería de importar y eso significaría un rubro alto. Se cotizó la importación vía aérea y vía marítima. Como el plazo de transporte por vía marítima es mayor, el precio se reduce. También se debe pagar por la cantidad de sacos de mortero y a todo eso adicionarle los rubros anteriores que son fabricación, transporte y montaje. Por kilogramo se aumentaría \$142,76 más incluyendo importación y kg de mortero, si representa un monto considerablemente

grande y por ello no se protegería todo el edificio sino ciertas partes que se consideren las más relevantes y además se usaría otros medio como la protección activa, los sprinkles para abaratar costos pero seguir cumpliendo con una buena protección contra incendios y así evitar pérdidas de vidas humanas y materiales. Al acero al enfriarse recupera gran parte de su resistencia inicial, aunque se debe determinar si la estructura puede seguir en servicio, porque en muchas ocasiones es imposible corregir las deformaciones ya presentes.

12. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se debe tomar en cuenta que los cambios de temperatura ambientales deben estar considerados como cargas. Así mismo, los códigos nacionales como el del Cuerpo de Bomberos, deberán ser más precisos cuando nombra el espesor de materiales ignífugos, porque como se explicó ampliamente, depende de la masividad de los perfiles y del tiempo que uno quiera que resista.

Otra recomendación es que se debe instalar rociadores de agua en edificios de más de 3 plantas y que tenga el mantenimiento apropiado para evitar accidentes. Que cumplan con un mínimo de 2 revisiones mensuales y que se efectúen simulacros para confirmar que el funcionamiento se encuentra en perfectas condiciones.

Por último, conseguir la manera de obtener alguna franquicia o informarnos más sobre las protecciones contra el fuego y lograr tener estos productos a nuestro alcance para que el costo de importación no sea considerable y el producto sea asequible. Además nacionalizando este producto no solo se logrará bajar precios sino también el acero sería el material de construcción más completo y se tendría como una opción más viable.

BIBLIOGRAFÍA:

Protección contra incendios. Recuperado de <http://www.isolana.es/es/documentacion/tarifa-de-precios-2015/tarifa-de-precios-ap5.pdf>

Villanueva J. L. M. (1983). Riesgo intrínseco de incendio. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_036.pdf

Gobierno de España. (2004). Real decreto 2267/2004. Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-21216>

Turmo E. S. (2007). Carga de fuego ponderada: parámetros de cálculo. Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/ntp-766.pdf>

Grupo EIVAR. Productos para la protección contra incendios. Recuperado de <http://www.extintoreseivar.com/productos>

Rodríguez H. G.(2016). Tutorial N107.Comportamiento del acero con la temperatura. Recuperado de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn107.html>

Barberan R. T. (1930). Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil. Reglamento de prevención de Incendios. Recuperado de http://www.bomberoscalvas.gob.ec/archivos/REGLAMENTO_PREVENCION_INCENDIOS.pdf

Sailer M. I. L. (2007). Descripción y análisis de incendios importantes para proponer criterios de diseño. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/sailer_m/sources/sailer_m.pdf

Vázquez P. M. (2009). REGLAMENTO DE PREVENCION, MITIGACION Y PROTECCION CONTRA INCENDIOS. Recuperado de <http://www.bomberosriobamba.gob.ec/cbr2014/images/bomberos/normativa/REGLAMENTO%20DE%20PREVENCIN%20MITIGACIN%20Y%20PROTECCIN%20CONTRA%20INCENDIOS.pdf>

Virgili X. G., (2007). Comportamiento de elementos estructurales de acero frente a incendio. Análisis de la Normativa. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6112/00.pdf?sequence=1>

González S. G., Estructuras metálicas: comportamiento frente al fuego. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_201.pdf

Pannoni F. D., Ph D. Principios de protección de estructuras metálicas en situaciones de corrosión y fuego (Figura). Recuperado de http://www.gerdaucorsa.com.mx/articulos/Principios_de_Proteccion_contra_Corrosion_y_Fuego.pdf



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CLAUDETTE MARIE PROCEL ANDRADE** con C.C: # 0918054321 autora del trabajo de titulación: **ESTUDIO DE LA ACCION DEL FUEGO (CAMBIO DE TEMPERATURA) EN PERFILES DOBLADOS A36 Y EN VIGAS I CALIDAD A572 Gr. 50 EN UNA ESTRUCTURA REGULAR CON PORTICOS**, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 25 de marzo del 2016

f. _____
Nombre: **CLAUDETTE MARIE PROCEL ANDRADE**
C.C: 0918054321



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ESTUDIO DE LA ACCIÓN DEL FUEGO (CAMBIO DE TEMPERATURA) EN PERFILES DOBLADOS A36 Y EN VIGAS I CALIDAD A572 GR. 50 EN UNA ESTRUCTURA REGULAR CON PÓRTICOS		
AUTOR(ES)	PROCEL ANDRADE, CLAUDETTE MARIE		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	ING. VILLACRES SÁNCHEZ, ALEX RAÚL		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
FACULTAD:	FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA:	INGENIERÍA CIVIL		
TÍTULO OBTENIDO:	INGENIERO CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	23 DE MARZO DEL 2016	NO. DE PÁGINAS:	178
ÁREAS TEMÁTICAS:	ESTRUCTURAS		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	CURVA DE INCENDIO NORMALIZADO. MODIFICACIONES EN PROPIEDADES MECÁNICAS. ESFUERZO REMANENTE. MORTERO PROYECTABLE.		
RESUMEN/ABSTRACT	<p>El principal objetivo de este trabajo de investigación es estudiar las modificaciones que sufren las estructuras metálicas en sus capacidades resistentes por el incremento de temperaturas. Este incremento de temperatura puede ser causado por un incendio o también por cambios de temperatura ambiental. Hoy en día se han iniciado múltiples investigaciones en este campo con el objetivo de comprender el fenómeno y modelizarlo de forma adecuada. Una de las principales investigaciones es la escala internacional de la curva de incendio normalizado ISO 83, que proporciona un valor de temperatura en función del tiempo transcurrido en un incendio.</p> <p>Posteriormente, las normativas nacionales como NEC15 no consideran en su diseño los cambios de temperatura. En el Código de Cuerpo de bomberos se toman medidas necesarias para impedir la extensión del fuego a estructuras próximas, para garantizar las medidas de seguridad y lograr una evacuación segura de los ocupantes. Mientras que en normas internacionales como AISC si consideran los cambios de temperatura, donde las propiedades mecánicas reducen un porcentaje, este porcentaje se estima en tablas de acuerdo a la temperatura que este expuesto. Después de la verificación de todas las normativas se evaluó un pórtico de acero donde se obtuvieron los valores de esfuerzos máximos por carga viva y carga muerta que luego fueron restados al esfuerzo de fluencia del acero y se obtuvo el esfuerzo remanente en los elementos. Se calculó el esfuerzo por temperatura y se encontró que el factor β si considera los cambios de temperatura ambiental porque los coeficientes que mayoran la carga viva y muerta son muy cercanos al factor β. Según el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España nos indican que por medio de ecuaciones y tablas existentes se calcula la temperatura a la que estará expuesto el perfil antes y después de la protección con mortero proyectable, que resulta ser muy efectiva.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-995639062	E-mail: claudette_p92@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: ING. VILLACRES SÁNCHEZ, ALEX RAÚL		
	Teléfono: +593-985119397		
	E-mail: alex.villacres@hotmail.com		